

19.877/H/04



MILIK PERPUSTAKAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH - NOPEMBER

## TUGAS AKHIR

### **“Analisa Getaran Dan Kebisingan Pada Motor Diesel Dengan Menggunakan Bahan Bakar Jelantah Ethyl Ester”**



RLLP

623.07236

Boi

a - 1  
2004

Disusun Oleh :

**Syaiful Arif**

NRP. 4297.100.015

PERPUSTAKAAN  
ITS

Tgl. Terima

26-3-2004

Terima Dari

H

No. Agenda Prp.

770102

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2004**





LEMBAR PENGESAHAN

**“Analisa Getaran Dan Kebisingan Pada Motor Diesel  
Dengan Menggunakan Bahan Bakar  
Jelantah Ethyl Ester”**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada**

**Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
SURABAYA**

**Surabaya, 14 Februari 2004**

**Mengetahui / Menyetujui**

**Dosen Pembimbing I**



**Ir. Orianto BSE., M.Sc.**  
**NIP. 130.786.955**



**Dosen Pembimbing II**

**Trika Pitana, ST.**  
**NIP. 132.296.227**





## **SURAT KEPUTUSAN Pengerjaan Tugas Akhir KS 1701**

Sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS, maka perlu diterbitkan Surat Keputusan Pengerjaan Tugas Akhir yang memberikan tugas kepada mahasiswa tersebut di bawah untuk mengerjakan Tugas sesuai judul dan lingkup bahasan yang telah ditentukan.

Nama Mahasiswa	: Syaiful Arif
NRP	: 4297 100 015
Dosen Pembimbing	: 1. Ir. M. Orianto, BSc, MSc. 2. Ir. Trika Pitana.
Tanggal Diberikan tugas	:
Tanggal Diselesaikan Tugas	:
Judul Tugas Akhir	: Analisa getaran dan kebisingan pada motor diesel dengan menggunakan bahan bakar jelantah ethyl ester.

Surabaya, 19 Maret 2003

Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

FT. Kelautan ITS

DR. Ir. A. A. Masroeri, M. Eng.  
NIP. 131 407 591

Surabaya, 19 Maret 2003

Yang menerima tugas :

Mahasiswa

Syaiful Arif  
NRP 4297 100 015

Dosen Pembimbing I

Ir. M. Orianto, BSc, MSc.  
NIP. 130.786.955

Dosen Pembimbing II

Ir. Trika Pitana  
NIP. 132.296.227





FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN – ITS  
JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

KAMPUS ITS KEPUTIH SUKOLILO SURABAYA 60111  
TELP. 5994754, 5994251 – 55 PES 1102 FAX 5994754

LEMBAR ASISTENSI  
Pengerjaan Tugas Akhir (KS 1701)

Nama Mahasiswa : Syaiful Arif  
NRP : 4297 100 015  
Dosen Pembimbing : 1. Ir. M. Orianto, BSc, MSc.  
2. Ir. Trika Pitana.  
Judul Tugas Akhir : Analisa getaran dan kebisingan pada motor diesel dengan menggunakan bahan bakar jelantah ethyl ester.

No.	Tanggal	Keterangan	Tanda Tangan
1	18 - 4 - 2003	Asistensi BAB I	R
2	21 - 4 - 2003	Asistensi BAB II	R
2	21 - 4 - 2003	Asistensi BAB I	Umu
3	21 - 4 - 2003	Asistensi BAB II	Umu
4	22 - 4 - 2003	Asistensi BAB III	Umu
5	22 - 4 - 2003	Progress Report	Umu
6	18 - 7 - 2003	Pengerjaan	R
7	7 - 10 - 2003	Asistensi Analisa Data	R
8	16 - 10 - 2003	Asistensi BAB IV	R
9	5 - 11 - 2003	Laporan kemajuan	Umu
10	15 - 11 - 2003	Revisi BAB IV	Umu
11	18 - 12 - 2003	Grafik	Umu
12	20 - 12 - 2003	Paper	Umu
13	6 - 1 - 2009	Asistensi Kesimpulan + Saran	R
14	15 - 1 - 2009	Draft Laporan TA + paper	R
15	20 - 1 - 2009	Rekomendasi ujian P-3	R

Surabaya, 18 April 2003

Mahasiswa

Syaiful Arif

Dosen Pembimbing I

Ir. M. Orianto BSc MSc

Dosen Pembimbing II

Ir. Trika Pitana





ABSTRAK



### *Abstraksi*

*Biodiesel menjadi energi alternatif karena krisis energi yang melanda dunia dan meningkatkan kerusakan lingkungan. Minyak jelantah dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar dalam pembuatan Biodiesel melalui proses esterifikasi dengan mengubah asam lemak menjadi ester, produk ini kemudian dinamakan Jelantah Ethyl Ester.*

*Semakin meningkatnya taraf kemakmuran masyarakat memberikan tuntutan untuk memperoleh kenyamanan. Getaran dan kebisingan akibat proses pembakaran pada motor diesel tidak dapat dihindarkan sebab proses pembakaran pada motor diesel ini menggunakan tekanan dan temperatur yang tinggi.*

*Dengan ditemukannya bahan bakar jelantah ethyl ester sebagai bahan bakar motor diesel maka diperlukan penelitian untuk mengetahui seberapa besar tingkat getaran dan kebisingan yang dihasilkan. Pada penelitian ini telah dapat diproduksi jelantah ethyl ester dan dapat tercampur secara sempurna dengan bahan bakar solar tanpa separasi. Tingkat getaran dan kebisingan yang terjadi pada eksperimen ini masih jauh dibawah ambang batas yang telah disyaratkan.*



KATA PENGANTAR



## KATA PENGANTAR

Puji syukur dan terimakasih penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Rahim atas segala kekuatan dan karunia-NYA sehingga tugas akhir **"Analisa Getaran Dan Kebisingan Pada Motor Diesel dengan Menggunakan Bahan Bakar Jelantah Ethyl Ester"** ini bisa terselesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini bertujuan untuk mempelajari kelayakan jelantah ethyl ester sebagai bahan bakar alternatif untuk motor diesel, mengetahui tingkat getaran dan kebisingan pada motor diesel menggunakan bahan bakar solar, jelantah ethyl ester, dan campuran antara kedua bahan bakar tersebut. Sehingga manfaat yang dapat diperoleh masyarakat dari penulisan tugas akhir ini adalah agar masyarakat pengguna motor diesel dapat mengetahui pemanfaatan dan efek pemakaian jelantah ethyl ester sebagai bahan bakar alternatif, mengetahui perubahan tingkat getaran dan kebisingan pada motor diesel akibat penggunaan jelantah ethyl ester sebagai bahan bakar alternatif.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang tak terhingga kepada pihak-pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung selama proses penelitian ini. Dengan tidak mengurangi bobot rasa terimakasih tersebut, penulis secara khusus hendak mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak, ibu, dan keluarga yang telah memberi semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

2. Ir. Orianto M.Sc. Dan Trika Pitana, ST., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan petunjuk selama penulis melakukan penelitian.
3. Balai Riset dan Standarisasi Industri dan Perdagangan Surabaya, Departemen Industri dan Perdagangan Republik Indonesia.
4. kawan-kawan GW21 (Dedy, Slamet, Bambang, Capunk, dll)
5. kawan-kawan Lab. Mesflu (Sony, Dadang, Beny, Iwan), terima kasih atas dorongan semangatnya.
6. Keluarga Bapak Zainuddin dan Ibu, Efriza, Fay. Terima kasih atas pinjaman uang untuk beli motor diesel.
7. Papa dan mama Tris, Almarhum Nova T.S., Wulan. Akhirnya aku dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Vero, atas keropotannya mencarikan literatur tentang Biodiesel di UGM.
9. Gembong Algojo 'komunitas Mulyorejo', Meita Jagiran, Iskak 'kolektif Bunga', teman-teman Stiesia (Meinita, leony, iyut, Ambar), Poetry FH Unair.
10. kawan-kawan WALHI Jatim (Yoko, Abenk, Ncust, Ipoel, Iva, Mustofa, pak slamet), Popular Democracy Forum (Aldi, Once, Aven, Plenky), Inspirasi (Dandik, mas wahyu, Sukis), Khanis, Arif, Bajoel, mas Danu, Kadam 'LPS', Puthut EA.

Surabaya , 14 Februari 2004

Mengetahui,

Penyusun

Syaiful Arif







DAFTAR ISI

## DAFTAR ISI

Sampul.....	i
Lembar Pengesahan.....	ii
Abstrak.....	iii
Kata Pengantar.....	iv
Daftar Isi.....	v
Daftar Gambar.....	vi
Daftar Tabel.....	vii
Daftar Grafik.....	viii
Daftar Persamaan.....	ix
Daftar Lampiran.....	x

### **BAB I. PENDAHULUAN.....I - 1**

1.1. Latar Belakang.....	I - 1
1.2. Perumusan Masalah.....	I - 3
1.3. Batasan Masalah .....	I - 4
1.4. Tujuan Penulisan.....	I - 4
1.5. Manfaat Penulisan .....	I - 5

### **BAB II. LANDASAN TEORI.....II - 2**

2.1. Karakteristik Motor Diesel.....	II - 1
2.2. Proses Pembakaran Pada Motor Diesel.....	II - 1



ethyl ester maka dapat diketahui karakteristiknya dan melalui engine test bed dapat diketahui pengaruh penggunaan jelantah ethyl ester sebagai bahan bakar serta komposisi campurannya dengan solar yang paling baik terhadap tingkat getaran dan kebisingan motor diesel.

Berdasarkan uraian tersebut diatas maka dalam tugas akhir dengan judul "Analisa getaran dan kebisingan pada motor diesel dengan menggunakan bahan bakar jelantah ethyl ester" ini akan ditinjau besarnya tingkat getaran dan kebisingan pada motor diesel yang menggunakan bahan bakar jelantah ethyl ester. Dari hasil pengujian di dalam tugas akhir ini diharapkan dapat dijadikan sebagai salah satu tinjauan untuk menggunakan jelantah ethyl ester sebagai bahan bakar alternatif untuk motor diesel yang dipakai sebagai motor penggerak utama maupun sebagai motor bantu di kapal.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Jelantah ethyl ester yang diharapkan menjadi bahan bakar pengganti solar pada saat mendatang diperkirakan memiliki nilai cetane yang relatif kecil bila dibandingkan dengan bahan bakar solar. Nilai cetane pada bahan bakar untuk motor diesel memegang peranan penting dalam proses pembakaran.

Penggunaan bahan bakar dengan nilai cetane yang lebih rendah akan membutuhkan temperatur dan tekanan yang lebih tinggi untuk dapat terbakar sendiri. Dengan bertambahnya temperatur dan tekanan akan menimbulkan hard combustion pada motor diesel dan hard combustion ini akan meningkatkan getaran dan kebisingan.

Semakin majunya teknologi membuat permintaan masyarakat akan kenyamanan lingkungan juga bertambah. Meningkatnya getaran dan kebisingan dalam lingkungan kerja dapat mengganggu kenyamanan para pekerja. Untuk mengetahui tingkat getaran dan kebisingan akibat penggunaan bahan bakar jelantah ethyl ester maka perlu dilakukan pengukuran terhadap motor diesel dengan menggunakan bahan bakar solar, jelantah ethyl ester, dan beberapa komposisi campuran antara kedua bahan bakar tersebut.

### **1.3. Batasan Masalah**

Untuk menyederhanakan masalah dan agar persoalan lebih terpusat dan terarah maka perlu dilakukan pembatasan masalah. Batasan-batasan permasalahan yang diambil adalah sebagai berikut :

1. Bahan bakar solar yang digunakan dalam percobaan adalah produksi PERTAMINA.
2. Jelantah ethyl ester yang digunakan merupakan hasil transesterifikasi.
3. Tidak dilakukan analisa gas buang.
4. Tidak dilakukan analisa minyak pelumas.

### **1.4. Tujuan Penulisan**

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk :

1. Mempelajari kelayakan jelantah ethyl ester sebagai bahan bakar alternatif untuk motor diesel.



2. Mengetahui tingkat getaran dan kebisingan pada motor diesel dengan menggunakan bahan bakar jelantah ethyl ester.
3. Membandingkan analisa tingkat getaran dan kebisingan pada motor diesel akibat menggunakan bahan bakar solar, jelantah ethyl ester, dan campuran antara kedua bahan bakar tersebut.
4. Mengetahui karakteristik jelantah ethyl ester dan komposisi campuran dengan solar yang paling baik terhadap tingkat getaran dan kebisingan.

#### **1.5. Manfaat Penulisan**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Agar masyarakat pengguna motor diesel dapat mengetahui pemanfaatan dan efek pemakaian jelantah ethyl ester sebagai bahan bakar alternatif.
2. Mengetahui perubahan tingkat getaran dan kebisingan pada motor diesel akibat penggunaan jelantah ethyl ester sebagai bahan bakar alternatif.
3. Memberikan informasi kepada Engine Builder.
4. Memberikan alternatif bahan bakar yang renewable.



## **BAB II LANDASAN TEORI**



## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Karakteristik Motor Diesel.**

Motor diesel adalah salah satu jenis motor pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*), yaitu motor bakar yang pembakarannya terjadi didalam ruang bakar (*Combustion Chamber*).

Karakteristik utama pada motor diesel yang membedakan dengan motor bakar lain adalah proses pembakaran. Motor diesel tidak menggunakan alat khusus untuk mencampur bahan bakar, jadi dalam motor ini bahan bakar diinjeksikan langsung kedalam ruang bakar yang memiliki temperatur dan tekanan yang tinggi. Penginjeksian ini dilakukan pada saat motor melakukan kompresi sehingga tekanan udara dalam silinder meningkat. Dengan alasan ini maka motor diesel disebut juga dengan motor kompresi (*Compression Ignition Engine*).

Kelebihan motor diesel yang lain adalah efisiensinya yang tinggi sehingga masyarakat lebih banyak memilih motor diesel ini sebagai penggerak baik dalam dunia industri maupun bidang transportasi. (*RWL Mathur : 1980*)

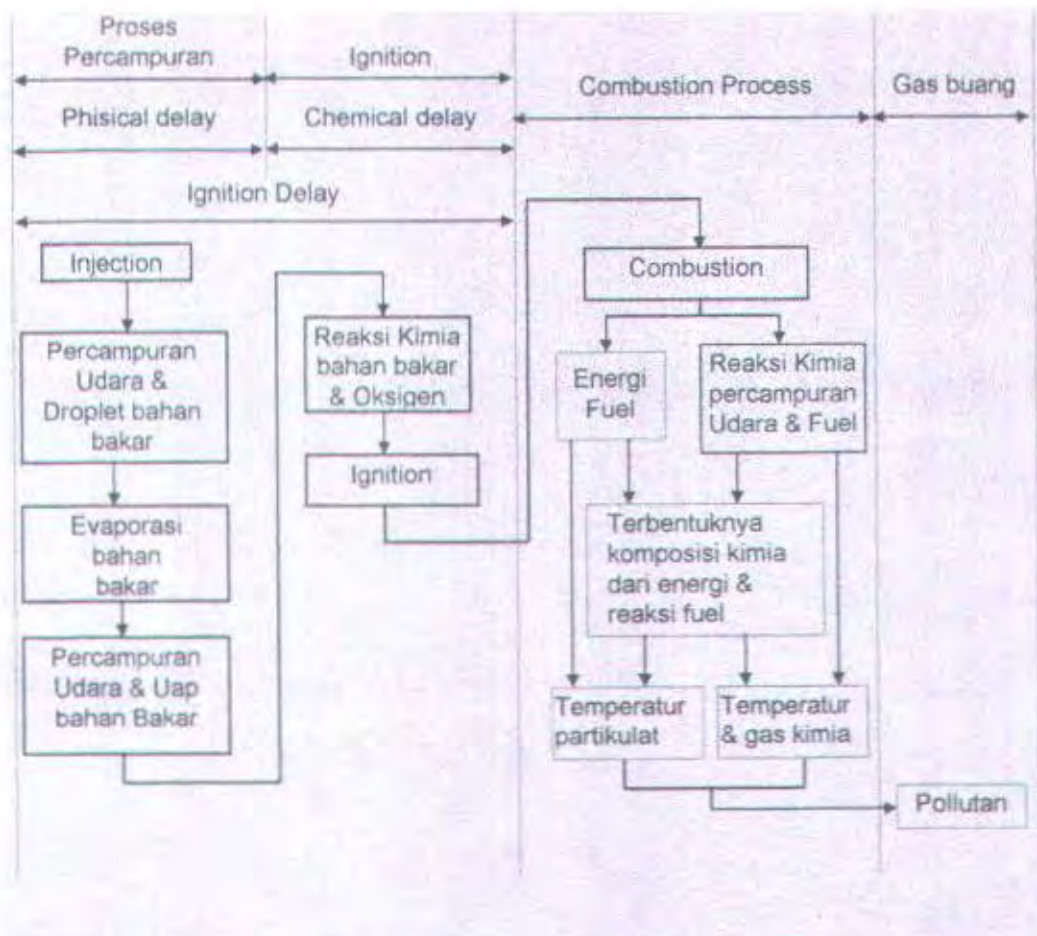
#### **2.2. Proses Pembakaran Pada Motor Diesel**

Pada motor diesel proses pembakarannya dapat dibagi dalam empat periode waktu pembakaran, yaitu:

1. Periode Persiapan Pembakaran (*ignition Delay Period*).

2. Periode Pembakaran Cepat (*Rapid Combustion* atau *Premixed Combustion Period*).
3. Periode Pembakaran terkendali (*Controlled Combustion* atau *Diffusion Combustion Period*).
4. Periode Pembakaran Lanjutan (*Final Combustion Period*).

Keempat proses periode waktu tersebut dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.1. Pembagian Proses Pembakaran.

### 2.2.1. Periode Persiapan Pembakaran (*Ignition Delay Period*)

Periode ini merupakan awal penginjeksian bahan bakar sampai awal pembakaran. Periode ini tergantung pada struktur kimia pada bahan bakar yang



dipakai. Sedangkan pengaruh dari fuel spray tidaklah begitu besar. Periode ini dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Physical Delay

Physical Delay merupakan proses pencampuran bahan bakar dengan udara bertekanan yang berada dalam silinder, proses pencampuran ini tidak berhubungan dengan sifat kimia jadi hanya akibat proses fisik saja. Physical Delay dimulai saat bahan bakar diinjeksikan kedalam ruang bakar hingga pertama kali menyala. Proses yang terjadi pada periode adalah berawal dari injeksi bahan bakar dengan udara, pencampuran bahan bakar dengan udara, penguapan bahan bakar, dan pencampuran uap bahan bakar dengan udara.

2. Chemical Delay

Periode ini disebut dengan Chemical Delay karena pada proses ini terjadi reaksi kimia antara bahan bakar dengan udara sebelum terjadi pembakaran lokal. Bahan bakar yang diinjeksikan kedalam silinder berbentuk kabut dengan dibantu oleh temperatur yang tinggi akibat proses kompresi didalam silinder mengakibatkan ion-ion bahan bakar akan mudah bercampur dengan ion-ion dari gas proses pencampuran ini akan membutuhkan waktu yang cukup panjang. Setelah melalui tahap ini akibat temperatur yang tinggi maka bahan bakar dengan sendirinya akan terbakar dan dimulailah tahap rapid combustion. (*John B. Heywood, 1988*).

Pengukuran ignition delay adalah waktu antara needle valve terangkat dan titik dimana tekanan meningkat cepat seperti yang terlihat pada gambar 2.2.

Perumusan empiris untuk menentukan ignition delay period menurut Herdenberg dan Hase adalah sebagai berikut :

$$\tau'_{id} = (0,36 + 0,22Sp) \exp \left[ E_A \left( \frac{1}{RT} - \frac{1}{17190} \right) \left( \frac{21,2}{P - 12,4} \right)^{0,63} \right] CA$$

$$\tau_{id} = \frac{\tau'_{id}}{0,006N} \text{ milidetik}$$

.....persamaan 2.1

dimana :

T : Temperatur (K)

P : Tekanan (Bar)

Sp : Kecepatan rata-rata piston (m/dt) = 2 L N

R : Konstanta gas (8,3143 J/mol.K)

$E_A$  : Activation energi (J/mol)

$$E_A = \frac{618840}{(CN + 25)}$$

CN : Cetane Number

N : Putaran Motor (Rpm)

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi ignition delay adalah :

1) Waktu injeksi.

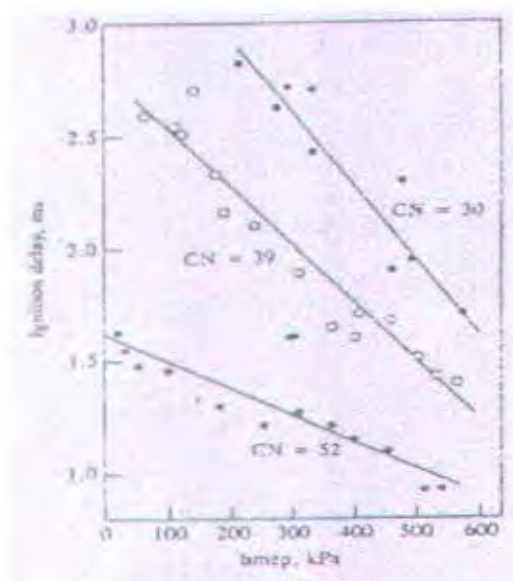
Pada kondisi normal, ignition delay minimum terjadi dengan awal injeksi antara  $10^\circ$  -  $15^\circ$  sebelum TMA (*Titik Mati Atas*). Peningkatan delay akan terjadi bila waktu injeksi dipercepat atau diperlambat, karena temperatur



dan tekanan berubah mendekati TMA. Jika awal injeksi dipercepat maka temperatur dan tekanan udara menjadi lebih rendah sehingga ignition delay menjadi lebih lama. Jika waktu injeksi diperlambat (mendekati TMA), temperatur dan tekanan udara pada awalnya sedikit lebih tinggi tetapi kemudian menjadi berkurang karena proses ignition delay.

## 2) Beban.

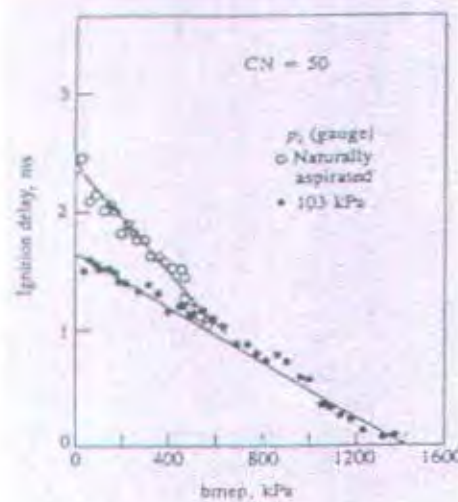
Ignition delay akan menurun secara linier dengan bertambahnya beban pada motor diesel tipe direct injection. Pada saat pembebanan bertambah maka temperatur gas buang dan temperatur dinding silinder akan meningkat, karena injeksi bahan bakar dilakukan pada temperatur tinggi yang menyebabkan ignition delay menjadi berkurang. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.2. Ignition delay sebagai fungsi dari beban.



Gambar 2.2. Ignition delay sebagai fungsi dari beban

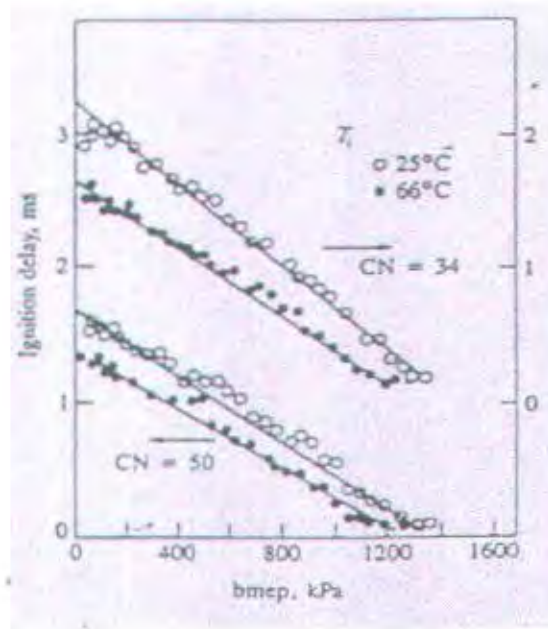
3) Temperatur dan tekanan udara hisap.

Temperatur udara hisap dibawah sekitar  $1000^{\circ}\text{K}$  menghasilkan perbedaan ignition delay yang cukup berarti. Berdasarkan rentang temperatur tersebut maka tekanan pada saat dimulainya injeksi bahan bakar memberikan pengaruh pada ignition delay, dimana semakin tinggi tekanan pada saat awal injeksi bahan bakar akan mempersingkat waktu ignition delay. Oleh karena itu penurunan ignition delay dapat dilakukan dengan menaikkan rasio kompresi motor diesel. Pengaruh tekanan udara hisap terhadap ignition delay dapat dilihat pada gambar 2.3. Pengaruh tekanan udara hisap terhadap ignition delay. Sedangkan pengaruh temperatur udara hisap terhadap ignition delay dapat dilihat pada gambar 2.4. Pengaruh temperatur udara hisap terhadap ignition delay. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada temperatur udara hisap yang lebih tinggi akan mengakibatkan ignitin delay yang lebih singkat.



Gambar 2.3. Pengaruh tekanan udara hisap terhadap ignition delay





Gambar 2.4. Pengaruh temperatur udara hisap terhadap ignitin delay

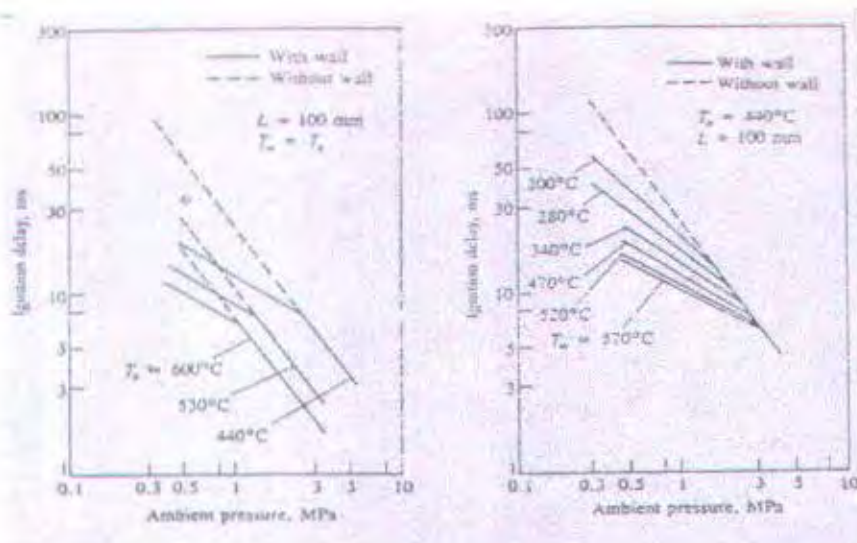
4) Putaran motor diesel.

Walaupun perubahannya kecil namun penambahan putaran motor akan menurunkan ignition delay, karena perubahan pada putaran motor akan merubah hubungan antara temperatur-waktu dan tekanan-waktu. Apabila putaran motor ditingkatkan maka tekanan injeksi akan meningkat. Puncak temperatur kompresi akan meningkat dengan meningkatnya putaran motor.

5) Pengaruh dinding ruang bakar.

Tumbukan antara semprotan bahan bakar dengan dinding ruang bakar mempengaruhi penguapan bahan bakar dan proses pencampuran bahan bakar dengan udara. Melalui percobaan dengan menggunakan metode *constant-volume combustion bomb* diperoleh hasil bahwa semakin besar tumbukan yang terjadi maka untuk tekanan dan temperatur yang rendah

akan mengurangi ignition delay, namun untuk tekanan dan temperatur yang tinggi tidak memberikan pengaruh terhadap ignition delay. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.5. Pengaruh dinding ruang bakar terhadap ignition delay.

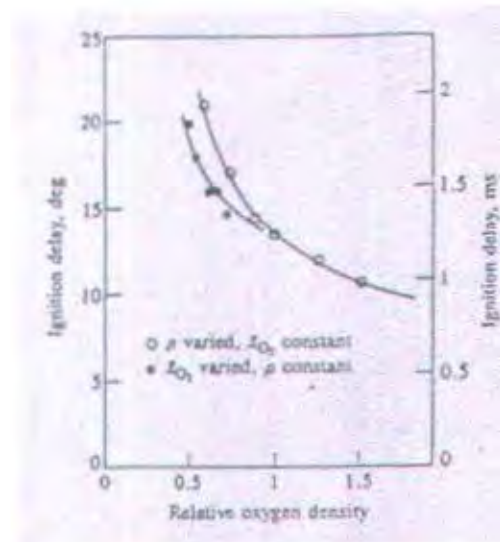


Gambar 2.5. pengaruh dinding ruang bakar terhadap ignition delay

#### 6) Konsentrasi oksigen.

Konsentrasi oksigen yang terdapat pada udara hisap akan mempengaruhi ignition delay. Ignition delay akan menurun bila konsentrasi oksigen pada udara hisap semakin besar seperti terlihat pada gambar 2.6. Pengaruh konsentrasi oksigen terhadap ignition delay.

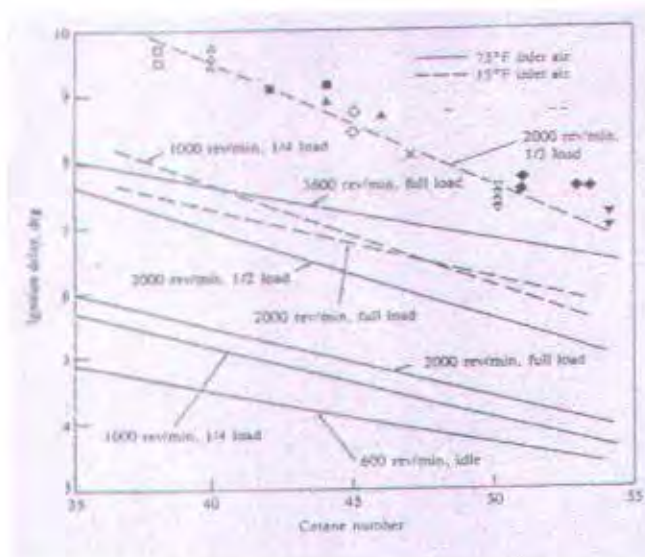




Gambar 2.6. Pengaruh konsentrasi oksigen terhadap ignition delay

#### 7) Cetane Number.

Selain dipengaruhi oleh faktor-faktor fisik motor seperti yang telah disebutkan diatas, ignition delay juga dipengaruhi oleh sifat karakteristik bahan bakar. Karakteristik bahan bakar yang paling berpengaruh terhadap ignition delay adalah cetane number. Pada gambar 2.7. Pengaruh cetane number bahan bakar terhadap ignition delay dapat dilihat bahwa dengan cetane number yang semakin kecil maka ignition delay yang terjadi semakin panjang. Selain itu juga dapat dilihat pada persamaan 2.1. bahwa cetane number bahan bakar yang dipakai berpengaruh terhadap lamanya waktu ignition delay.



Gambar 2.7. Pengaruh cetane number bahan bakar terhadap ignition delay

### 2.2.2. Periode Pembakaran Cepat (Rapid Combustion atau Premixed Combustion Period).

Periode ini dimulai pada akhir ignition delay, bahan bakar yang terkumpul bercampur dengan udara yang begitu banyak pada periode sebelumnya mengakibatkan bahan bakar terbakar dalam waktu singkat, sehingga sulit dikontrol. Pada periode ini terjadi kenaikan heat release yang begitu tajam, dimana kenaikan ini sangat tergantung pada jumlah bahan bakar yang bercampur dengan udara untuk membentuk campuran yang dapat terbakar selama ignition delay period.

Secara umum fraksi massa bahan bakar yang terbakar pada premixed meningkat dengan meningkatnya ignition delay period, menurut Watson fraksi premixed burned fuel ( $\beta$ ), dirumuskan sebagai berikut :



2.2.1.	Periode Persiapan Pembakaran ( <i>Ignition Delay Period</i> ).....	II - 2
2.2.2.	Periode Pembakaran Cepat ( <i>Rapid Combustion</i> atau <i>Premixed Combustion Period</i> ).....	II - 10
2.2.3.	Periode Pembakaran Terkendali ( <i>Controllet Combustion Period</i> ).....	II - 11
2.2.4.	Periode Pembakaran Lanjutan ( <i>Final Combustion Period</i> ).....	II - 11
2.3.	Pengaruh Bahan Bakar Pada Proses Pembakaran.....	II - 12
2.3.1.	Pengaruh Sifat Kimia Bahan Bakar.....	II - 12
2.3.2.	Pengaruh Sifat Fisika Bahan Bakar.....	II - 12
2.4.	Karakteristik Jelantah Ethyl Ester Dibandingkan Solar.....	II - 13
2.4.1.	Biodiesel.....	II - 13
2.4.2.	Transesterifikasi.....	II - 14
2.4.3.	Minyak Solar.....	II - 15
2.4.3.1.	Berat Jenis.....	II - 16
2.4.3.2.	Viskositas.....	II - 16
2.4.3.3.	Cetane Number.....	II - 17
2.4.3.4.	Titik Nyala.....	II - 17
2.4.3.5.	Titik Tuang.....	II - 17
2.5.	Prinsip Dasar Terjadinya Getaran Dan Kebisingan oleh Motor Diesel..	II - 18
2.6.	Tingkat Getaran Dan Kebisingan Pada Motor Diesel Empat Langkah..	II - 19
2.6.1.	Getaran Pada Motor Diesel Empat Langkah.....	II - 19
2.6.2.	Tingkat Getaran Yang Diperbolehkan.....	II - 22

2.6.3. Persyaratan Amplitudo Getaran.....	II - 22
2.6.4. Hubungan Kebisingan dengan Kecepatan.....	II - 23
2.6.5. Efek Beban Mesin Terhadap Kebisingan.....	II - 24
2.6.6. Efek Ukuran Mesin.....	II - 25
2.6.7. Kebisingan Pada Mesin Diesel Dengan Turbocharge.....	II - 25
2.6.8. Tingkat Kebisingan Pada Motor Diesel Dua Langkah.....	II - 27
2.6.9. Tingkat Kebisingan Yang Diperbolehkan.....	II - 29

### **BAB III. METODOLOGI.....III - 1**

3.1. Umum.....	III - 1
3.2. Esterifikasi.....	III - 1
3.2.1. Penyiapan Unit Esterifikasi.....	III - 1
3.2.2. Produksi Jelantah Ethyl Ester.....	III - 3
3.3. Uji Karakteristik Jelantah Ethyl Ester.....	III - 5
3.4. Engine Set-Up.....	III - 5
3.5. Pra-Eksperimen.....	III - 6
3.5.1. Spesifikasi Motor Diesel.....	III - 6
3.5.2. Spesifikasi Generator.....	III - 7
3.5.3. Spesifikasi Bahan bakar.....	III - 8
3.6. Komposisi Pemakaian Bahan Bakar Jelantah Ethyl Ester.....	III - 10
3.7. Eksperimen Di Engine Test Bed.....	III - 11



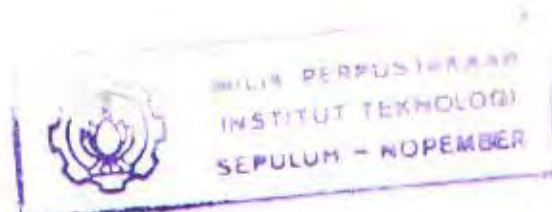
3.8. Analisa Tingkat Getaran Dan Kebisingan Dengan Menggunakan Bahan Bakar Jelantah Ethyl Ester.....	III - 12
3.9. Kesimpulan.....	III - 12

#### **BAB IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....IV - 1**

4.1. Produksi Jelantah Ethyl Ester.....	IV- 1
4.2. Karakteristik Jelantah Ethyl Ester dan hasil campurannya (JEExx).....	IV - 8
4.2.1. Karakteristik Jelantah Ethyl Ester.....	IV - 8
4.2.2. Karakteristik percampuran minyak solar dengan minyak Jelantah Ethyl Ester (JEE xx).....	IV - 10
4.3. Analisa Getaran dan Kebisingan motor diesel dengan menggunakan bahan bakar Jelantah Ethyl Ester.....	IV - 17
4.3.1. Tingkat Getaran.....	IV - 17
4.3.2. Tingkat Kebisingan.....	IV - 19

#### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....V - 1**

5.1. Kesimpulan.....	V - 1
5.2. Saran.....	V - 3
Daftar Pustaka.....	xi
Lampiran.....	xii







**DAFTAR GAMBAR**



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Pembagian Proses Pembakaran.....	II – 2
Gambar 2.2.	Ignition delay sebagai fungsi dari beban.....	II - 5
Gambar 2.3.	Pengaruh tekanan udara hisap terhadap ignition delay....	II - 6
Gambar 2.4.	Pengaruh temperatur udara hisap terhadap ignitin delay..	II – 7
Gambar 2.5.	Pengaruh dinding ruang bakar terhadap ignition delay...	II – 8
Gambar 2.6.	Pengaruh konsentrasi oksigen terhadap ignition delay....	II - 9
Gambar 2.7.	Pengaruh cetane number bahan bakar terhadap ignition delay.....	II - 10
Gambar 2.8.	.....	II – 19
Gambar 2.9.	Grafik Richard yang memperlihatkan batasan amplitudo getaran Vertikal ( <i>Machine Foundations, P. Srinivasulu</i> )	II – 23
Gambar 3.1.	Pengujian motor diesel.....	III – 6
Gambar 3.2.	Flowchart pembuatan jelantah methyl ester.....	III – 13
Gambar 3.3.	Flowchart pengujian di engine test bed.....	III – 14
Gambar 3.4.	Flowchart metodologi pengerjaan tugas akhir.....	III - 15
Gambar 4.1.	Proses pembuatan Jelantah Ethyl Ester.....	IV - 3
Gambar 4.2.	Hasil Proses Pencucian (pembublelan).....	IV - 4
Gambar 4.3.	Hasil Proses Pengeringan.....	IV – 6

Gambar 4.4.	Visualisasi perbandingan antara minyak solar dan Jelantah Ethyl Ester.....	IV - 11
Gambar 4.5.	Percampuran (blending) antara minyak solar dan Jelantah Ethyl Ester.....	IV - 12
Gambar 4.6.	Perbandingan secara Visualisasi antara Minyak Solar dengan Minyak Jelantah.....	IV - 13
Gambar 4.7.	Percampuran (blending) antara minyak solar dengan Minyak Jelantah.....	IV - 14





**DAFTAR TABEL**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Tingkat Getaran Untuk Kenyamanan Dan Kesehatan.....	II - 22
Tabel 2.2.	Tingkat Kebisingan Pada Peralatan Mesin ( <i>Japanesse Industrial Standard</i> ).....	II - 28
Tabel 2.3.	Tingkat Kebisingan Yang Diperbolehkan (OSHA 1981).....	II - 29
Tabel 2.4.	Tingkat Kebisingan Yang Diperbolehkan OSHA 1984).....	II - 29
Tabel 3.1.	Karakteristik Bahan Bakar Minyak Solar Pertamina.....	III - 8
Tabel 3.2.	Karakteristik Bahan Bakar Biodiesel.....	III - 9
Tabel 3.3.	Komposisi Bahan Bakar.....	III - 11
Tabel 4.1.	hasil uji karakteristik minyak jelantah dan jelantah ethyl ester.....	IV - 10
Tabel 4.2.	Range Spesifikasi Karakteristik Biodiesel (B100) Hasil Pengujian Mengacu Pada Prosedur ASTM, National Bio Diesel Board, 1999.....	IV - 16





# DAFTAR GRAFIK



## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1.	Input Proses Esterifikasi.....	IV – 8
Grafik 4.2.	Output Proses Esterifikasi.....	IV – 8
Grafik 4.38.	Perbandingan Amplitudo Getaran (body) Vs Beban JEE 00% Pada Variasi Putaran.....	IV – 17
Grafik 4.58.	Perbandingan Amplitudo Getaran (body) Vs Beban JEE 100% Pada Variasi Putaran.....	IV – 18
Grafik 4.64.	Perbandingan Amplitudo Getaran (body) Vs Beban Pada Variasi Bahan Bakar, Putaran 2300 Rpm.....	IV – 18
Grafik 4.78.	Perubahan Amplitudo Getaran (body) Pada Putaran 2300	IV – 19
Grafik 4.11.	Perbandingan Noise Vs Beban Pada JEE 00% Dengan Variasi Putaran.....	IV – 20
Grafik 4.15.	Perbandingan Noise Vs Beban Pada JEE 100% Dengan Variasi Putaran.....	IV – 21
Grafik 4.26.	Perbandingan Noise (depan) Vs Beban Dengan Variasi Bahan Bakar Pada Putaran 2300 Rpm.....	IV – 21
Grafik 4.27.	Perbandingan Noise (belakang) Vs Beban Dengan Variasi Bahan Bakar Pada Putaran 2300 Rpm.....	IV – 22
Grafik 4.24.	Perbandingan Noise (depan) Vs Beban Dengan Variasi Bahan Bakar Pada Putaran 1900 Rpm.....	IV – 22
Grafik 4.25.	Perbandingan Noise (belakang) Vs Beban Dengan Variasi Bahan Bakar Pada Putaran 1900 Rpm.....	IV – 23





**DAFTAR LAMPIRAN**

## DAFTAR LAMPIRAN

1. Lampiran Mekanisme Transesterikasi.
2. Lampiran Rumus Perhitungan.
3. Lampiran Tabel Perhitungan Hasil Pra-Eksperimen untuk Daya dan SFOC.
4. Lampiran Grafik Perbandingan Daya Vs SFOC.
5. Lampiran Tabel Hasil Eksperimen.
6. Lampiran Grafik Hasil Eksperimen.







**BAB I**  
**PENDAHULUAN**



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Pada saat ini penggunaan motor diesel dari tahun ke tahun semakin meningkat. Salah satu penggunaan yang menonjol dari motor diesel adalah bidang transportasi, baik di darat maupun di laut. Ada beberapa alasan mengapa penggunaan motor diesel semakin meningkat dari tahun ke tahun, baik untuk instalasi daya kecil, sedang maupun besar. Antara lain karena efisiensinya yang tinggi serta memiliki ketahanan (*durability*), keandalan (*reliability*) yang lebih baik bila dibandingkan dengan beberapa penggerak mula yang lain.

Walaupun memiliki beberapa keunggulan, dengan meningkatnya penggunaan motor diesel maka konsumsi terhadap bahan bakar diesel (*solar*) semakin meningkat pula. Hal tersebut sangat penting untuk diperhatikan, mengingat cadangan minyak bumi di Indonesia semakin lama akan semakin habis, apalagi pada pasca tahun 2000 merupakan tahun-tahun "*keramat*" bagi Indonesia maupun dunia karena sumber-sumber minyak sudah semakin mengering. Indonesia bahkan diperkirakan tidak lagi berstatus "*net exporter*" minyak pada tahun 2010, apabila sumber cadangan minyak baru tidak berhasil ditemukan (*jurnal lemigas no.2,1998*). Untuk menunjang penghematan minyak bumi maka mulai sekarang sudah seharusnya dimulai pemikiran untuk mencari bahan bakar alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak bumi.



Oleh karena keterbatasan sumber energi dan juga karena kerusakan lingkungan hidup yang terjadi dimana-mana dan terus berlanjut. Pada akhir tahun 1970-an minyak nabati di Eropa telah digunakan sebagai bahan bakar motor menggantikan minyak bumi. Namun karena masalah teknis yang sulit diatasi, sekalipun dengan memodifikasi motor yang akhirnya hanya menambah biaya, minyak nabati kemudian diolah menjadi biodiesel dan mulai dikembangkan sejak pertengahan 1980-an. Terutama di Jerman dan Austria, biodiesel diproduksi dari minyak rapeseed.

Embargo minyak pada tahun 1973 dan kenaikan harga minyak yang kontinyu serta suplai minyak mentah yang tidak tentu telah mengakibatkan negara-negara, lembaga-lembaga, dan biro-biro memerintahkan untuk melakukan penelitian tentang berbagai macam aspek pengembangan bahan bakar alkohol termasuk ethanol (*Stark 1954; Paul 1979*).

Dalam penelitian ini akan digunakan minyak jelantah sebagai bahan dasar jelantah ethyl ester, mengingat minyak goreng (minyak kelapa sawit) yang masih baru umumnya masih digunakan masyarakat kita untuk memasak, sehingga diharapkan minyak jelantah dapat dimanfaatkan seoptimal mungkin keberadaannya sebagai bahan dasar jelantah ethyl ester.

Produksi bahan bakar tipe ethyl ester dilakukan melalui proses transesterifikasi (*Charles Peterson, et al: 1996*). Esterifikasi merupakan suatu proses dimana asam lemak diubah menjadi ester, karakteristik fisik dan kimianya (nilai kalor, density, cetane number, dll) lebih mirip dengan bahan bakar fosil daripada masih dalam bentuk minyak nabati mentah. Dengan pembuatan jelantah

ethyl ester maka dapat diketahui karakteristiknya dan melalui engine test bed dapat diketahui pengaruh penggunaan jelantah ethyl ester sebagai bahan bakar serta komposisi campurannya dengan solar yang paling baik terhadap tingkat getaran dan kebisingan motor diesel.

Berdasarkan uraian tersebut diatas maka dalam tugas akhir dengan judul "Analisa getaran dan kebisingan pada motor diesel dengan menggunakan bahan bakar jelantah ethyl ester" ini akan ditinjau besarnya tingkat getaran dan kebisingan pada motor diesel yang menggunakan bahan bakar jelantah ethyl ester. Dari hasil pengujian di dalam tugas akhir ini diharapkan dapat dijadikan sebagai salah satu tinjauan untuk menggunakan jelantah ethyl ester sebagai bahan bakar alternatif untuk motor diesel yang dipakai sebagai motor penggerak utama maupun sebagai motor bantu di kapal.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Jelantah ethyl ester yang diharapkan menjadi bahan bakar pengganti solar pada saat mendatang diperkirakan memiliki nilai cetane yang relatif kecil bila dibandingkan dengan bahan bakar solar. Nilai cetane pada bahan bakar untuk motor diesel memegang peranan penting dalam proses pembakaran.

Penggunaan bahan bakar dengan nilai cetane yang lebih rendah akan membutuhkan temperatur dan tekanan yang lebih tinggi untuk dapat terbakar sendiri. Dengan bertambahnya temperatur dan tekanan akan menimbulkan hard combustion pada motor diesel dan hard combustion ini akan meningkatkan getaran dan kebisingan.



Semakin majunya teknologi membuat permintaan masyarakat akan kenyamanan lingkungan juga bertambah. Meningkatnya getaran dan kebisingan dalam lingkungan kerja dapat mengganggu kenyamanan para pekerja. Untuk mengetahui tingkat getaran dan kebisingan akibat penggunaan bahan bakar jelantah ethyl ester maka perlu dilakukan pengukuran terhadap motor diesel dengan menggunakan bahan bakar solar, jelantah ethyl ester, dan beberapa komposisi campuran antara kedua bahan bakar tersebut.

### **1.3. Batasan Masalah**

Untuk menyederhanakan masalah dan agar persoalan lebih terpusat dan terarah maka perlu dilakukan pembatasan masalah. Batasan-batasan permasalahan yang diambil adalah sebagai berikut :

1. Bahan bakar solar yang digunakan dalam percobaan adalah produksi PERTAMINA.
2. Jelantah ethyl ester yang digunakan merupakan hasil transesterifikasi.
3. Tidak dilakukan analisa gas buang.
4. Tidak dilakukan analisa minyak pelumas.

### **1.4. Tujuan Penulisan**

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk :

1. Mempelajari kelayakan jelantah ethyl ester sebagai bahan bakar alternatif untuk motor diesel.

2. Mengetahui tingkat getaran dan kebisingan pada motor diesel dengan menggunakan bahan bakar jelantah ethyl ester.
3. Membandingkan analisa tingkat getaran dan kebisingan pada motor diesel akibat menggunakan bahan bakar solar, jelantah ethyl ester, dan campuran antara kedua bahan bakar tersebut.
4. Mengetahui karakteristik jelantah ethyl ester dan komposisi campuran dengan solar yang paling baik terhadap tingkat getaran dan kebisingan.

#### **1.5. Manfaat Penulisan**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Agar masyarakat pengguna motor diesel dapat mengetahui pemanfaatan dan efek pemakaian jelantah ethyl ester sebagai bahan bakar alternatif.
2. Mengetahui perubahan tingkat getaran dan kebisingan pada motor diesel akibat penggunaan jelantah ethyl ester sebagai bahan bakar alternatif.
3. Memberikan informasi kepada Engine Builder.
4. Memberikan alternatif bahan bakar yang renewable.





## **BAB II LANDASAN TEORI**

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Karakteristik Motor Diesel.**

Motor diesel adalah salah satu jenis motor pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*), yaitu motor bakar yang pembakarannya terjadi didalam ruang bakar (*Combustion Chamber*).

Karakteristik utama pada motor diesel yang membedakan dengan motor bakar lain adalah proses pembakaran. Motor diesel tidak menggunakan alat khusus untuk mencampur bahan bakar, jadi dalam motor ini bahan bakar diinjeksikan langsung kedalam ruang bakar yang memiliki temperatur dan tekanan yang tinggi. Penginjeksian ini dilakukan pada saat motor melakukan kompresi sehingga tekanan udara dalam silinder meningkat. Dengan alasan ini maka motor diesel disebut juga dengan motor kompresi (*Compression Ignition Engine*).

Kelebihan motor diesel yang lain adalah efisiensinya yang tinggi sehingga masyarakat lebih banyak memilih motor diesel ini sebagai penggerak baik dalam dunia industri maupun bidang transportasi. (*RWI. Mathur : 1980*)

#### **2.2. Proses Pembakaran Pada Motor Diesel**

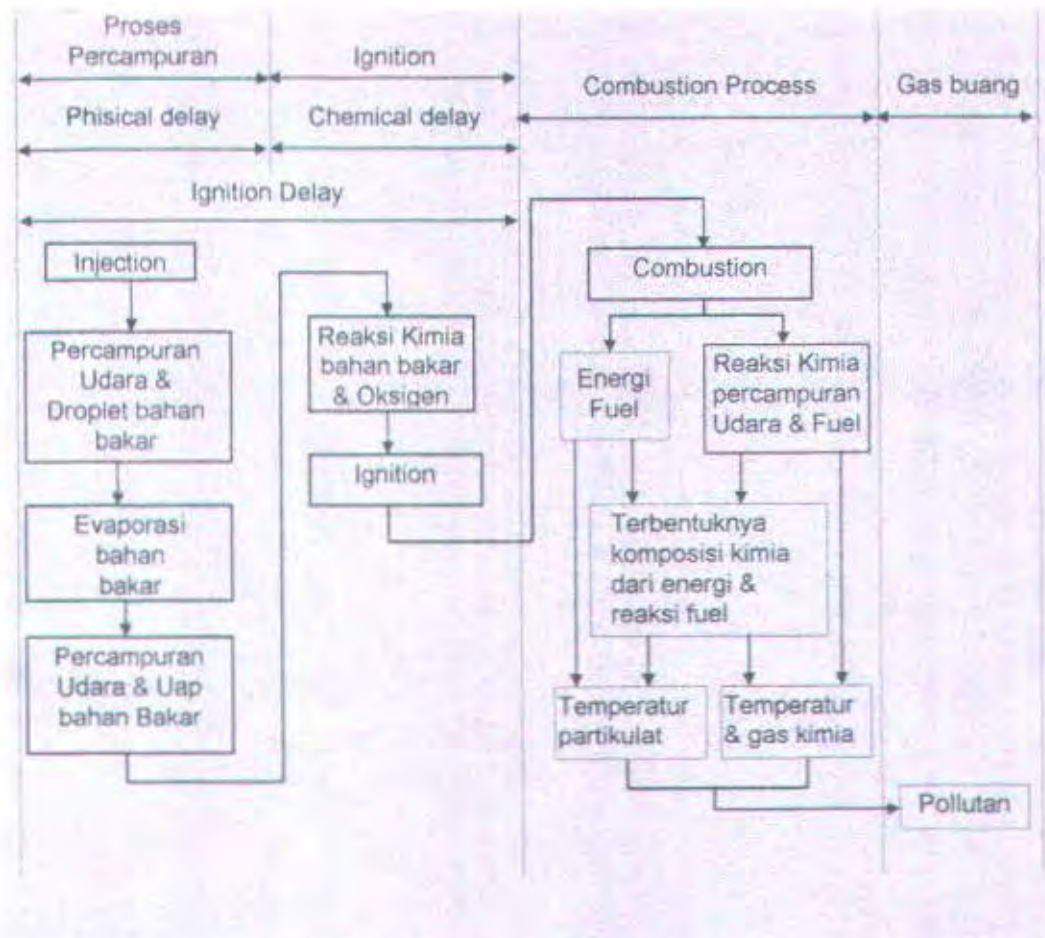
Pada motor diesel proses pembakarannya dapat dibagi dalam empat periode waktu pembakaran, yaitu:

1. Periode Persiapan Pembakaran (*ignition Delay Period*).



2. Periode Pembakaran Cepat (*Rapid Combustion atau Premixed Combustion Period*).
3. Periode Pembakaran terkendali (*Controlled Combustion atau Diffusion Combustion Period*).
4. Periode Pembakaran Lanjutan (*Final Combustion Period*).

Keempat proses periode waktu tersebut dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.1. Pembagian Proses Pembakaran.

#### 2.2.1. Periode Persiapan Pembakaran (*Ignition Delay Period*)

Periode ini merupakan awal penginjeksian bahan bakar sampai awal pembakaran. Periode ini tergantung pada struktur kimia pada bahan bakar yang

dipakai. Sedangkan pengaruh dari fuel spray tidaklah begitu besar. Periode ini dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Physical Delay

Physical Delay merupakan proses pencampuran bahan bakar dengan udara bertekanan yang berada dalam silinder, proses pencampuran ini tidak berhubungan dengan sifat kimia jadi hanya akibat proses fisik saja. Physical Delay dimulai saat bahan bakar diinjeksikan kedalam ruang bakar hingga pertama kali menyala. Proses yang terjadi pada periode adalah berawal dari injeksi bahan bakar dengan udara, pencampuran bahan bakar dengan udara, penguapan bahan bakar, dan pencampuran uap bahan bakar dengan udara.

2. Chemical Delay

Periode ini disebut dengan Chemical Delay karena pada proses ini terjadi reaksi kimia antara bahan bakar dengan udara sebelum terjadi pembakaran lokal. Bahan bakar yang diinjeksikan kedalam silinder berbentuk kabut dengan dibantu oleh temperatur yang tinggi akibat proses kompresi didalam silinder mengakibatkan ion-ion bahan bakar akan mudah bercampur dengan ion-ion dari gas proses pencampuran ini akan membutuhkan waktu yang cukup panjang. Setelah melalui tahap ini akibat temperatur yang tinggi maka bahan bakar dengan sendirinya akan terbakar dan dimulailah tahap rapid combustion. (*John B. Heywood, 1988*).



Pengukuran ignition delay adalah waktu antara needle valve terangkat dan titik dimana tekanan meningkat cepat seperti yang terlihat pada gambar 2.2.

Perumusan empiris untuk menentukan ignition delay period menurut Herdenberg dan Hase adalah sebagai berikut :

$$\tau'_{id} = (0,36 + 0,22Sp)Exp \left[ E_A \left( \frac{1}{RT} - \frac{1}{17190} \right) \left( \frac{21,2}{P - 12,4} \right)^{0,63} \right] CA$$

$$\tau_{id} = \frac{\tau'_{id}}{0,006N} \text{ mili detik}$$

....., persamaan 2.1

dimana :

T : Temperatur (K)

P : Tekanan (Bar)

Sp : Kecepatan rata-rata piston (m/dt) = 2 L N

R : Konstanta gas (8,3143 J/mol.K)

$E_A$  : Activation energi (J/mol)

$$E_A = \frac{618840}{(CN + 25)}$$

CN : Cetane Number

N : Putaran Motor (Rpm)

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi ignition delay adalah :

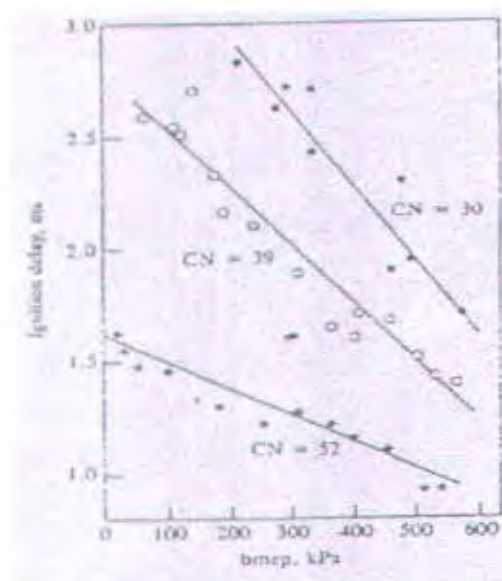
#### 1) Waktu injeksi.

Pada kondisi normal, ignition delay minimum terjadi dengan awal injeksi antara 10° - 15° sebelum TMA (*Titik Mati Atas*). Peningkatan delay akan terjadi bila waktu injeksi dipercepat atau diperlambat, karena temperatur

dan tekanan berubah mendekati TMA. Jika awal injeksi dipercepat maka temperatur dan tekanan udara menjadi lebih rendah sehingga ignition delay menjadi lebih lama. Jika waktu injeksi diperlambat (mendekati TMA), temperatur dan tekanan udara pada awalnya sedikit lebih tinggi tetapi kemudian menjadi berkurang karena proses ignition delay.

## 2) Beban.

Ignition delay akan menurun secara linier dengan bertambahnya beban pada motor diesel tipe direct injection. Pada saat pembebanan bertambah maka temperatur gas buang dan temperatur dinding silinder akan meningkat, karena injeksi bahan bakar dilakukan pada temperatur tinggi yang menyebabkan ignition delay menjadi berkurang. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.2. Ignition delay sebagai fungsi dari beban.

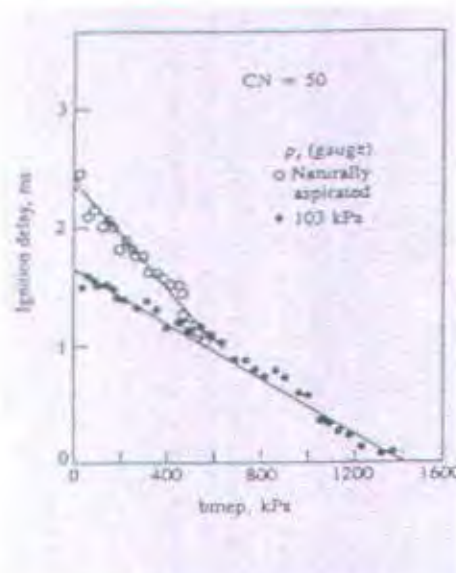


Gambar 2.2. Ignition delay sebagai fungsi dari beban

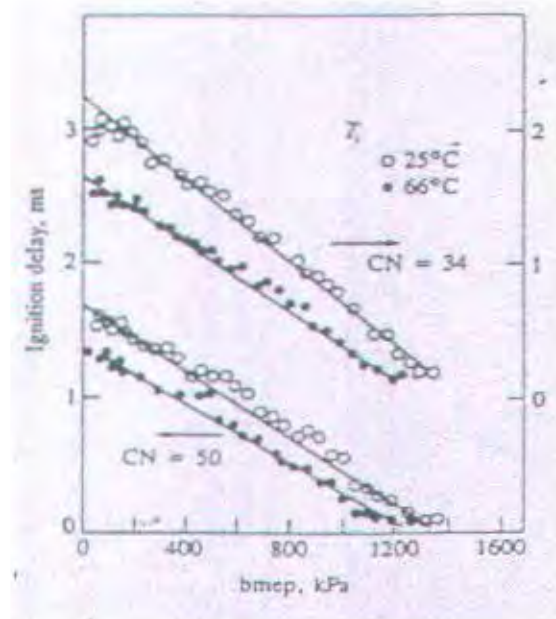


3) Temperatur dan tekanan udara hisap.

Temperatur udara hisap dibawah sekitar  $1000^{\circ}\text{K}$  menghasilkan perbedaan ignition delay yang cukup berarti. Berdasarkan rentang temperatur tersebut maka tekanan pada saat dimulainya injeksi bahan bakar memberikan pengaruh pada ignition delay, dimana semakin tinggi tekanan pada saat awal injeksi bahan bakar akan mempersingkat waktu ignition delay. Oleh karena itu penurunan ignition delay dapat dilakukan dengan menaikkan rasio kompresi motor diesel. Pengaruh tekanan udara hisap terhadap ignition delay dapat dilihat pada gambar 2.3. Pengaruh temperatur udara hisap terhadap ignition delay dapat dilihat pada gambar 2.4. Pengaruh temperatur udara hisap terhadap ignition delay. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada temperatur udara hisap yang lebih tinggi akan mengakibatkan ignitin delay yang lebih singkat.



Gambar 2.3. Pengaruh tekanan udara hisap terhadap ignition delay



Gambar 2.4. Pengaruh temperatur udara hisap terhadap ignitin delay

#### 4) Putaran motor diesel.

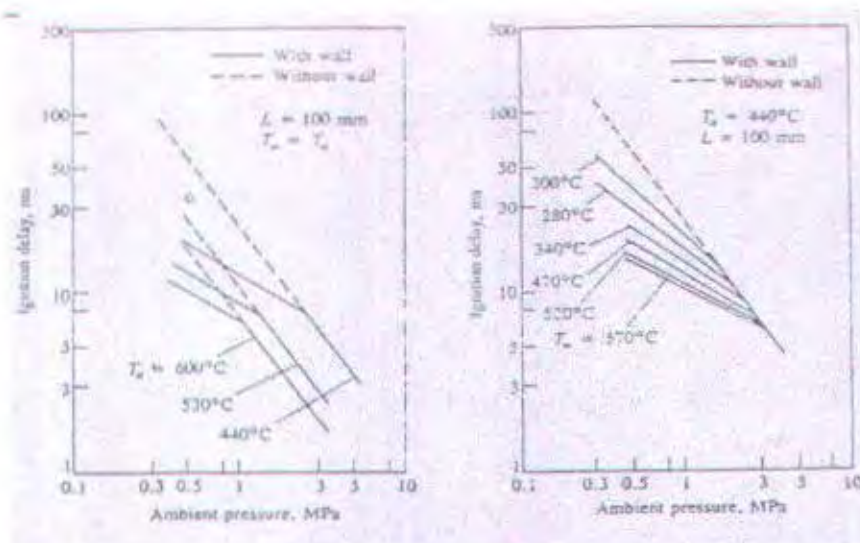
Walaupun perubahannya kecil namun penambahan putaran motor akan menurunkan ignition delay, karena perubahan pada putaran motor akan merubah hubungan antara temperatur-waktu dan tekanan-waktu. Apabila putaran motor ditingkatkan maka tekanan injeksi akan meningkat. Puncak temperatur kompresi akan meningkat dengan meningkatnya putaran motor.

#### 5) Pengaruh dinding ruang bakar.

Tumbukan antara semprotan bahan bakar dengan dinding ruang bakar mempengaruhi penguapan bahan bakar dan proses pencampuran bahan bakar dengan udara. Melalui percobaan dengan menggunakan metode *constant-volume combustion bomb* diperoleh hasil bahwa semakin besar tumbukan yang terjadi maka untuk tekanan dan temperatur yang rendah



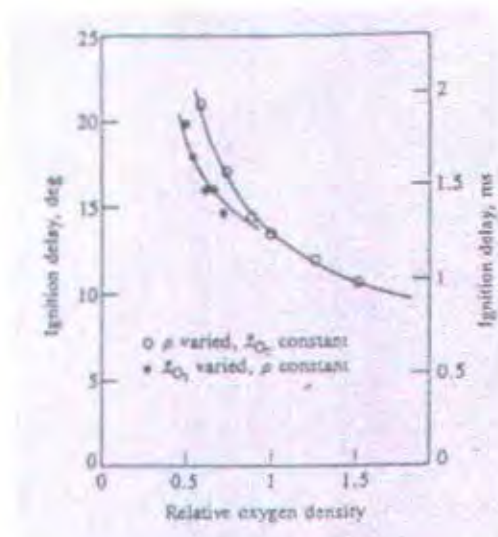
akan mengurangi ignition delay, namun untuk tekanan dan temperatur yang tinggi tidak memberikan pengaruh terhadap ignition delay. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.5. Pengaruh dinding ruang bakar terhadap ignition delay.



Gambar 2.5. pengaruh dinding ruang bakar terhadap ignition delay

#### 6) Konsentrasi oksigen.

Konsentrasi oksigen yang terdapat pada udara hisap akan mempengaruhi ignition delay. Ignition delay akan menurun bila konsentrasi oksigen pada udara hisap semakin besar seperti terlihat pada gambar 2.6. Pengaruh konsentrasi oksigen terhadap ignition delay.

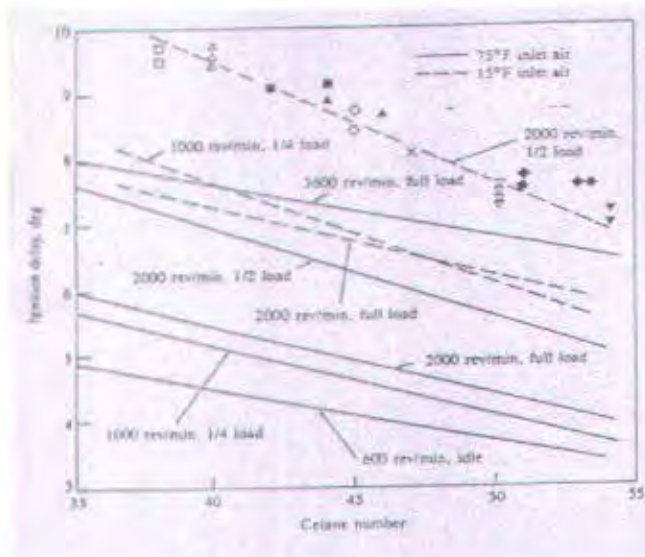


Gambar 2.6. Pengaruh konsentrasi oksigen terhadap ignition delay

#### 7) Cetane Number.

Selain dipengaruhi oleh faktor-faktor fisik motor seperti yang telah disebutkan diatas, ignition delay juga dipengaruhi oleh sifat karakteristik bahan bakar. Karakteristik bahan bakar yang paling berpengaruh terhadap ignition delay adalah cetane number. Pada gambar 2.7. Pengaruh cetane number bahan bakar terhadap ignition delay dapat dilihat bahwa dengan cetane number yang semakin kecil maka ignition delay yang terjadi semakin panjang. Selain itu juga dapat dilihat pada persamaan 2.1. bahwa cetane number bahan bakar yang dipakai berpengaruh terhadap lamanya waktu ignition delay.





Gambar 2.7. Pengaruh cetane number bahan bakar terhadap ignition delay

### 2.2.2. Periode Pembakaran Cepat (Rapid Combustion atau Premixed Combustion Period).

Periode ini dimulai pada akhir ignition delay, bahan bakar yang terkumpul bercampur dengan udara yang begitu banyak pada periode sebelumnya mengakibatkan bahan bakar terbakar dalam waktu singkat, sehingga sulit dikontrol. Pada periode ini terjadi kenaikan heat release yang begitu tajam, dimana kenaikan ini sangat tergantung pada jumlah bahan bakar yang bercampur dengan udara untuk membentuk campuran yang dapat terbakar selama ignition delay period.

Secara umum fraksi massa bahan bakar yang terbakar pada premixed meningkat dengan meningkatnya ignition delay period, menurut Watson fraksi premixed burned fuel ( $\beta$ ), dirumuskan sebagai berikut :

$$\beta = 1 - \frac{a \cdot \phi^b}{\tau_{id}^c} \dots\dots\dots \text{persamaan 2.2.}$$

Dimana a, b, dan c diketahui melalui pendekatan yang tergantung pada desain mesin (Heywood), yaitu :

A	b	C
0,89 – 0,95	0,25 – 0,45	0,25 – 0,5

### 2.2.3. Periode Pembakaran Terkendali (*Controllet Combustion Period*).

Selama periode premixed combustion tadi bahan bakar tetap diinjeksikan untuk siap dibakar, bahan bakar harus dikabutkan, diuapkan, bercampur dengan udara, dan bereaksi secara kimia. Maka kecepatan pembakaran menjadi berkurang atau dengan kata lain menjadi terkontrol yang diawali dengan partikel droplet terbakar secara individu, yang terkontrol oleh chemical kinetik. Periode ini berakhir ditandai dengan selesainya penginjeksian bahan bakar.

### 2.2.4. Periode Pembakaran Lanjutan (*Final Combustion Period*).

Dengan berakhirnya penginjeksian bahan bakar kedalam silinder dan heat release mencapai nol, sehingga keadaan disebut dengan pembakaran lanjut. Selama periode ini, penurunan partikel mulai padam namun difusi dari oksigen tetap mengontrol proses pembakaran. Tahap ini tekanan yang terjadi akibat proses pembakaran menurun drastis dan tidak besar sehingga didalam grafik akan menyerupai garis yang landai, periode ini diakhiri dengan pembuangan gas buang. (Wiranto, 1998)



### **2.3. Pengaruh Bahan Bakar Pada Proses Pembakaran.**

Mesin diesel dengan proses pembakaran kompresi membutuhkan bahan bakar khusus dimana bahan bakar ini harus dapat terbakar dengan sendirinya dalam tekanan dan temperatur yang tinggi. Dimana yang berpengaruh dalam bahan bakar adalah sifat fisik dan sifat kimia.

#### **2.3.1. Pengaruh Sifat Kimia Bahan Bakar.**

Kualitas bahan bakar pada mesin diesel ditentukan oleh jumlah kandungan nilai cetane dalam bahan bakar, nilai cetane bahan bakar berbanding terbalik dengan nilai oktan. Angka cetane adalah rantai karbon yang molekulnya mudah untuk dipecah sehingga pencampuran bahan bakar dengan udara akan lebih mudah.

Nilai cetane sangat berpengaruh dalam proses pembakaran. Bahan bakar dengan nilai cetane yang tinggi akan mempercepat proses ignition delay. Dengan berkurangnya ignition delay dalam proses pembakaran akan mengurangi hard combustion pada mesin. Berkurangnya hard combustion pada proses pembakaran akan mengurangi tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh mesin.

#### **2.3.2. Pengaruh Sifat Fisika Bahan Bakar.**

Sifat fisika didalam bahan bakar tidak memiliki pengaruh yang besar dalam proses pembakaran. Dalam beberapa pengujian dengan penggunaan viskositas yang berbeda tetapi tidak memiliki perbedaan yang menyolok. Tetapi proses

pemanasan, atomisasi bahan bakar, proses penyemprotan bahan bakar pengaruhnya cukup signifikan dalam proses pembakaran.

## **2.4. Karakteristik Jelantah Ethyl Ester Dibandingkan Solar.**

### **2.4.1. Biodiesel.**

Biodiesel merupakan nama yang diberikan untuk bahan bakar yang terdiri dari *mono-alkyl ester* yang dapat terbakar dengan bersih. Biodiesel juga dapat ditulis sebagai **B100**. **B100** menunjukkan bahwa biodiesel tersebut murni 100% terdiri atas mono-alkyl ester.

Campuran biodiesel (*biodiesel blend*) merupakan campuran biodiesel dengan bahan bakar fosil lainnya. Campuran ini ditulis sebagai **Bxx**, dimana *xx* menyatakan persen komposisi biodiesel dalam total campuran tersebut. Ada berbagai alasan mengapa orang mencampurkan biodiesel dengan bahan bakar fosil. Alasan ini akan dibicarakan dibelakang karena menyangkut sifat biodiesel dan pertimbangan lainnya.

Biodiesel sebagai bahan bakar alternatif, mulai diteliti sebagai akibat makin sadarnya manusia akan pencemaran yang ditimbulkan bahan bakar konvensional serta persediaan minyak bumi yang terus menipis. Sebagai bahan bakar yang dapat diperbaharui, biodiesel mempunyai keuntungan antara lain karena mudah digunakan (memerlukan hanya sedikit atau bahkan tidak memerlukan sama sekali modifikasi dari diesel engine yang telah ada (*National Biodiesel Board*)), dapat diurai oleh alam secara alamiah, dan dapat diproduksi secara domestik hasil *agricultur*.



Dibandingkan dengan diesel oil, biodiesel dapat menghasilkan jumlah power, dan torsi yang sama dengan diesel oil dalam jumlah yang sama. Hal ini dikarenakan umumnya biodiesel mempunyai nilai cetane yang lebih tinggi dari diesel oil. Selain itu biodiesel memiliki efek pelumasan yang lebih baik dari pada diesel oil. Biodiesel juga sesuai dengan komponen dalam diesel engine yang menggunakan diesel oil.

Sebagai produk alam biodiesel diolah dengan bahan baku minyak atau lemak yang diperoleh dari berbagai hasil *agricultural*, dan peternakan. Pengolahan bahan baku menjadi faktor penting untuk menghasilkan biodiesel yang berkualitas yang memenuhi standart. Untuk menghasilkan *ethyl ester* dari minyak dan lemak ada tiga tahap yang dilakukan, yaitu :

1. Katalisasi minyak dengan ethanol dalam rangka transesterifikasi.
2. Katalisasi asam minyak dengan ethanol dalam rangka esterifikasi.
3. Mengubah minyak dari asam lemak menjadi *ethyl ester*.

Jelantah *ethyl ester* merupakan nama untuk biodiesel yang didapat dari pemrosesan minyak jelantah (*waste vegetable oil*) menjadi bentuk ester melalui proses transesterifikasi. Proses transesterifikasi ini diadopsi dari metode pembuatan yang dilakukan oleh Mike Pelly dan Aleks kac.

#### **2.4.2. Transesterifikasi.**

Alat untuk memproduksi biodiesel disebut dengan transesterifikasi. Ada dua jenis transesterifikasi yaitu sistem *batch* dan *continues* (Graboski dan McCormick, 1998), (Allen and Watts, 1996). Dalam skala laboratorium tipe batch

lebih cocok karena produksinya tidak terlalu besar (Allen and Watts, 1996). Sedangkan untuk kapasitas yang lebih besar tipe continues lebih baik. Tipe semacam ini lebih cocok untuk proses komersial. Paterson dan Reece (1996) telah mempelajari fisibilitas proses memproduksi biodiesel.

Pada dasarnya proses pembuatan biodiesel adalah mengubah minyak nabati kedalam bentuk ester. Untuk memperoleh ester, minyak nabati direaksikan dengan alcohol (methanol dan ethanol). Untuk mempercepat reaksi maka digunakan KOH atau sodium hidroksida sebagai katalisator. Dalam kesetimbangan stokiometri, reaksi ini dapat ditulis sebagai berikut :



1000 Kg    107,5 Kg    1004,5 Kg    103 Kg

#### **2.4.3. Minyak Solar.**

Minyak solar adalah campuran molekul hidrokarbon yang kompleks, sebagai hasil suatu proses destilasi minyak bumi. Pada umumnya minyak solar merupakan campuran dari beberapa produk pengilangan yang sebagian besar merupakan hasil unit destilasi primer. Namun untuk menghasilkan produk minyak solar seringkali produk dari pengilangan lainnya dikonversi menjadi minyak solar.

Dari sejumlah karakteristik minyak solar, beberapa diantaranya sangat mempengaruhi proses pembakaran pada motor diesel. Karakteristik tersebut antara lain :



#### **2.4.3.1. Berat Jenis.**

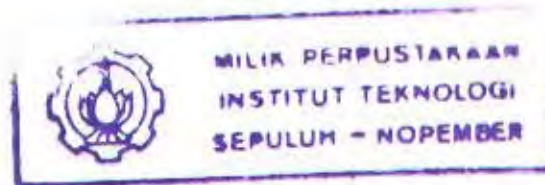
Berat jenis adalah perbandingan antara berat dan volume tertentu suatu benda terhadap berat dari volume yang sama dari air. Berat jenis erat kaitannya dengan nilai kalori dan jumlah tenaga yang dihasilkan per-satuan bahan bakar tersebut. Sebelum minyak solar masuk kedalam ruang bakar, minyak tersebut harus disedot dari tangki melalui dan dialirkan dengan tekanan rendah ke pompa injeksi bahan bakar dan dalam jumlah tertentu ditekan dan diinjeksikan sebagai butiran-butiran halus yang akan menyala dan terbakar di ruang bakar. Besar butiran, penetrasi maupun kapasitas pompa injeksi tersebut sangat dipengaruhi oleh berat jenis minyak yang bersangkutan. Dengan demikian berat jenis bahan bakar akan mempengaruhi desain pompa injeksi, filter maupun injektor yang akan digunakan. Nilai dari berat jenis minyak solar menurut peraturan DITJEN MIGAS adalah 0,82 – 0,87 pada temperatur 60° F.

#### **2.4.3.2. Viskositas.**

Viskositas fluida diukur dari tahanan atau gesekan dalamnya. Viskositas minyak dinyatakan oleh jumlah detik yang digunakan oleh volume tertentu dari minyak untuk mengalir melalui lubang dengan diameter tertentu. Semakin singkat waktu yang diperlukan berarti semakin rendah viskositasnya. Nilai dari viskositas minyak solar adalah 34 – 35 secs pada temperatur 100° F.

#### 2.4.3.3. Cetane Number.

Karakteristik bahan bakar yang paling berpengaruh terhadap ignition delay adalah cetane number. Cetane number bahan bakar akan mempengaruhi kualitas penyalaan bahan bakar. Cetane number minyak semakin tinggi maka temperatur yang diperlukan untuk penyalaan bahan bakar akan semakin rendah. Pada gambar 2.7. dapat dilihat bahwa cetane number yang semakin kecil maka ignition delay yang terjadi semakin panjang. Selain itu juga dapat dilihat pada persamaan 2.1 bahwa cetane number bahan bakar yang dipakai berpengaruh pada lamanya waktu ignition delay.



#### 2.4.3.4. Titik Nyala.

Titik nyala dapat diartikan sebagai temperatur yang paling rendah untuk menimbulkan uap yang dapat terbakar dalam jumlah yang cukup untuk menyala atau terbakar sesaat ketika disinggungkan dengan nyala api. Titik nyala dari minyak solar adalah minimal  $150^{\circ}\text{F}$ .

#### 2.4.3.5. Titik Tuang.

Titik tuang adalah temperatur dimana minyak mulai membeku. Titik tuang penting untuk menstart dingin suatu mesin dan untuk penanganan penyimpanan minyak. Titik tuang minyak solar maksimal pada temperatur  $65^{\circ}\text{F}$ .



## 2.5. Prinsip Dasar Terjadinya Getaran Dan Kebisingan oleh Motor Diesel.

Pada dasarnya getaran dan kebisingan yang timbul pada motor ditimbulkan oleh dua komponen besar, yaitu:

1. komponen yang menerima beban langsung diantaranya adalah piston, connecting rod, camshaft, dan komponen yang lain.
2. Komponen yang menetima beban dari luar diantaranya adalah silinder blok.

Proses pembakaran menimbulkan gaya akibat tekanan yang cepat dari laju panas yang timbul akibat pembakaran. Tekanan ini akan berosilasi dengan chamber. Tekanan ini menimbulkan tekanan berbentuk pulsa pada bodi motor.

Hal ini dapat dimodelkan secara linier, yaitu :

$$M \ddot{x} + C \dot{x} + K x = P(t)$$

Dimana:

$P(t)$  = Fluktuasi tekanan

$M$  = Massa

$C$  = Koefisien peredaman

$K$  = Konstanta pegas

Adanya gaya ini menimbulkan getaran dan kebisingan akibat struktur. Karena dengan adanya gaya besar yang bekerja pada motor akan menimbulkan hentakan atau gesekan yang menimbulkan getaran dan suara akibat adanya clearan diantara komponen motor.

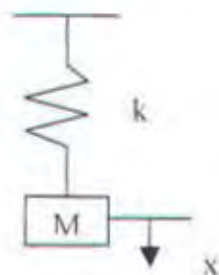
Sir Harry Ricardo mendefinisikan hubungan antara kecepatan proses pembakaran dengan kebisingan. Kebisingan diakibatkan oleh pukulan putar pada dinding silinder. Ini timbul akibat tekanan cepat yang timbul akibat gas.

Tekanan ini timbul pada waktu proses injection dimulai, dengan dimulainya injection bahan bakar kedalam silinder mulai juga proses pembakaran secara cepat. Dengan adanya proses pembakaran secara cepat maka tingkat tekanan yang timbul akan lebih rendah.

## 2.6. Tingkat Getaran Dan Kebisingan Pada Motor Diesel Empat Langkah.

### 2.6.1. Getaran Pada Motor Diesel Empat Langkah.

Getaran dapat terjadi jika ada minimal dua elemen pengumpul energi (*Robert K. Vierck, 1995*). Yang pertama adalah massa yang menyimpan energi kinetic dan yang kedua adalah alat elastic seperti pegas yang menyimpan energi potensial. Kedua elemen seperti ditunjukkan pada gambar 2.8. disimbulkan dengan  $m$  dan  $k$  yang mewakili elemen massa dan elemen elastic. Dengan menganggap tidak ada pergerakan dalam arah horizontal, jika  $m$  ditarik kesuatu posisi tertentu arah vertical dari posisi stabilnya maka suatu gerakan osilasi akan terjadi dalam arah vertical. Gerakan tadi diulangi dalam suatu waktu interval yang sama sehingga gerakan tadi dianggap sebagai gerakan periodik.



Gambar 2.8

Getaran pada motor diesel disebabkan oleh gaya pemindahan yang dihasilkan dari berbagai gaya tidak seimbang yang bekerja dalam motor. Kalau semua gaya dalam sebuah motor mempunyai besar dan arah yang tetap, mereka



dapat diseimbangkan dengan mudah. Tetapi kenyataannya gaya didalam sebuah motor selalu berubah besar dan arahnya, sehingga sulit untuk menyeimbangkannya. Masalah penyeimbangan gaya yang berubah-ubah ini juga dipersulit oleh gerak ulak-alik dari bagian tertentu. Oleh karenanya getaran motor diesel dapat terjadi karena gaya putar yang tidak imbang, perubahan dalam tekanan gas, gaya kelembaman, dan momen punter. Kalau gaya yang berubah-ubah dalam motor ini terjadinya pada kecepatan yang sama dengan getaran frekwensi dari struktur motor atau salah satu bagiannya, maka hasil keadaan resonansi dapat memperbesar amplitude getaran sampai sedemikian besar sehingga akan terjadi kerusakan yang gawat (Maleeve & Bambang Priambodo, 1986).

Getaran motor sebagai satu keseluruhan hanya diperhitungkan kalau struktur yang mendukung motor adalah fleksibel (Maaleeve & Bambang Priambodo, 1986), dapat digolongkan oleh jenis perpindahan yang menyebabkan, yaitu :

- ⌘ Kocokan (*shaking*), disebabkan oleh gaya vertikal atau horizontal berayun-ayun yang cenderung untuk menggerakkan motor naik turun atau kearah samping.
- ⌘ Goyangan (*rocking*), disebabkan oleh gaya horizontal berayun-ayun yang bekerja diatas titik berat motor yang cenderung untuk menggoyang motor disekitar garis yang melalui titik beratnya.
- ⌘ Jungkitan (*pitching*), disebabkan oleh pasangan gaya (kopel) vertikal yang cenderung untuk menaikkan-turunkan ujung motor.

- ⌘ Simpangan (*yawing*), disebabkan oleh kopel horizontal yang cenderung untuk menyimpangkan motor menyilang atau menggerakkan motor kekiri-kekanan.
- ⌘ Getaran puntiran, disebabkan oleh reaksi momen puntir berayun-ayun yang cenderung untuk memilin poros engkol selama berputar.

Dari pengertian penggolongan getaran diatas dapat terlihat bahwa kocokan disebabkan oleh gaya ulak-alik yang tidak imbang dan komponen vertikal atau horizontal dari gaya sentrifugal yang tidak imbang, sedangkan jungkitan disebabkan oleh kopel tidak imbang yang dihasilkan oleh semua gaya tersebut. Goyangan terutama disebabkan oleh variasi dalam komponen horizontal dari reaksi torak atau dorongan samping dan disebabkan oleh perubahan dalam tekanan gas, gaya kelembaman, dan reaksi beban. Simpangan terutama disebabkan oleh kopel tidak imbang yang dihasilkan oleh komponen horizontal dari gaya sentrifugal dalam motor vertikal dan komponen horizontal dari gaya ulak-alik dalam motor jenis V. getaran puntiran terutama disebabkan oleh variasi momen puntir sebagai akibat dari perubahan dalam tekanan gas, gaya kelembaman, dan reaksi beban puntir.

Meskipun semua getaran ini sampai sedemikian jauh saling berhubungan, tetapi tekanan gas dan reaksi beban mempunyai pengaruh kecil pada getaran motor selain pada getaran puntiran dan goyangan. Getaran, jungkitan, kocokan, dan simpangan disebabkan oleh gaya ulak-alik dan putaran kopel yang tidak imbang yang terjadi pada semua beban motor kecuali motor dilengkapi dengan alat untuk menyeimbangkannya. Selain itu terdapat getaran dalam pada struktur motornya sendiri yang disebabkan oleh ayunan dalam tekanan gas dan gaya



kelembaman. Ini ditunjukkan oleh kekasaran motor, yang terjadi pada titik getar tertentu ketika frekwensi dari gaya yang berayun berimpitan dengan frekwensi dari struktur motor atau suatu kelipatan dari frekwensi ini. Untuk mencegah resonansi dengan getaran ini, maka rangka motor dibuat sekaku mungkin untuk meningkatkan frekwensi dari getaran.

### 2.6.2. Tingkat Getaran Yang Diperbolehkan

Pada tahun 1996 di Indonesia mulai memberlakukan kebijakan tingkat getaran melalui keputusan menteri lingkungan hidup NO. KEP-49/MENLH/11/1996 yaitu :

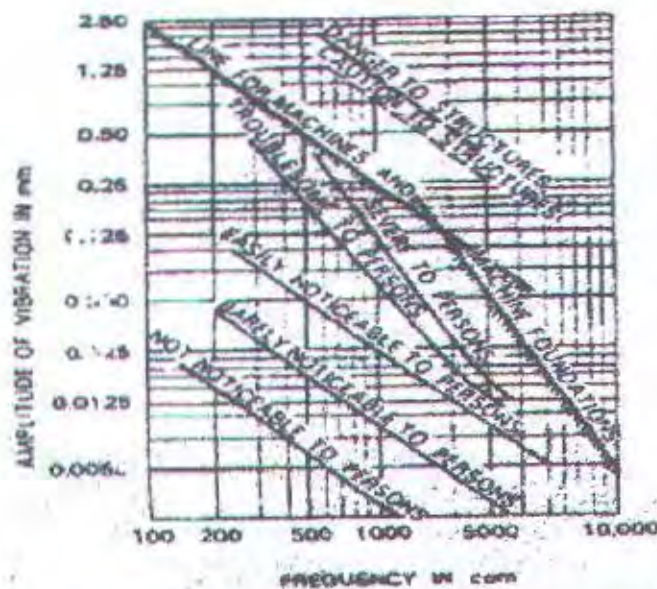
Tabel 2.1. Tingkat Getaran Untuk Kenyamanan Dan Kesehatan.

Frekuensi (Hz)	Nilai Tingkat Getaran untuk Kenyamanan dan Kesehatan			
	Tidak Mengganggu	Mengganggu	Tidak Nyaman	Menyakitkan
4	< 100	100 – 500	> 500 – 1000	> 1000
5	< 80	80 – 350	> 350 – 1000	> 1000
6,3	< 70	70 – 275	> 275 – 1000	> 1000
8	< 50	50 – 160	> 160 – 500	> 500
10	< 37	37 – 120	> 120 – 300	> 300
12,5	< 32	32 – 90	> 90 – 220	> 220
16	< 25	25 – 60	> 60 – 120	> 120
20	< 20	20 – 40	> 40 – 85	> 85
25	< 17	17 – 30	> 30 – 50	> 50
31,5	< 12	12 – 20	> 20 – 30	> 30
40	< 9	9 – 15	> 15 – 20	> 20
50	< 8	8 – 12	> 12 – 15	> 15
63	< 6	6 – 9	> 9 – 12	> 12

### 2.6.3. Persyaratan Amplitudo Getaran.

Besarnya amplitudo getaran yang diijinkan untuk pondasi motor biasanya ditentukan oleh pabrik pembuatnya. Amplitudo getaran yang diijinkan pada suatu pondasi ditentukan berdasarkan kepentingan relative dari motor dan sifat sensitive

dari struktur untuk menerima getaran. Jika data dari pabrik pembuat tidak menyatakan besarnya amplitudo getaran, maka kita dapat menggunakan grafik yang dibuat oleh Richard seperti gambar 2.9 dibawah ini.



Gambar 2.9, Grafik Richard yang memperlihatkan batasan amplitudo getaran Vertikal (*Machine Foundations*, P. Srinivasulu, fig. 1.4).

#### 2.6.4. Hubungan Kebisingan dengan Kecepatan.

Bertambahnya kecepatan pada mesin akan meningkatkan kebutuhan bahan bakar. Ini terjadi karena dengan kecepatan bertambah maka ia membutuhkan energi yang lebih besar. Meningkatnya jumlah bahan bakar yang masuk kedalam silinder akan menambah ignition delay. Proses pembakaran yang memiliki ignition delay panjang menimbulkan pressure didalam silinder menjadi meningkat. Dengan bertambahnya tekanan pada silinder akibat bertambahnya kecepatan. Penambahan dua kali lipat kecepatan akan menambah tingkat kebisingan sebesar 9,7 dB atau 32 dB pada penambahan dengan kelipatan sepuluh



penambahan kecepatan. Kita dapat memperoleh garis lurus dari hubungan antara tingkat kebisingan dengan kecepatan.

Pengaruh kecepatan terhadap kebisingan pada mesin diesel dapat kita lihat melalui kecepatan timbulnya tekanan, dari sini dapat kita hitung laju dari penambahan kebisingan akibat dari tekanan dari silinder.

Intensitas (laju sound power setiap luasan area) akibat radiasi kebisingan pada mesin dapat kita hitung melalui formula sebagai berikut:

$$I \approx N^n$$

Dimana : (n) menunjukkan index dari pembakaran, pada mesin diesel nilai n dapat divariasikan mulai dari 2,5 sampai 4,5.

Dengan semakin halusny proses pembakaran akan menurunkan tingkat kebisingan yang ditimbulkan, hanya saja laju akibat kecepatan akan bertambah dengan sangat tinggi.

#### **2.6.5. Efek Beban Mesin Terhadap Kebisingan.**

Penurunan beban mesin berarti akan menurunkan puncak tekanan pada silinder. Dimana tekanan initial timbul pada kondisi beban penuh. Ini akan menurunkan tingkat tekanan pada silinder pada frekuensi yang rendah. Dan ini merupakan alasan mengapa beban pada mesin akan mempengaruhi kebisingan sebesar 1-4 dB(A). dengan sistem pembakaran yang sama dimana combustion chambers yang lebih mudah terpengaruh terhadap proses pendinginan, kebisingan yang ditimbulkan oleh beban pada mesin ini akan lebih besar.

#### 2.6.6. Efek Ukuran Mesin.

Pada mesin diesel dengan menggunakan Rpm yang sama dan mengalami perubahan ukuran akan meningkatkan kebisingan. Jadi pada dasarnya kebisingan pada mesin akan bertambah 17,5 dBA setiap kapasitas silinder dinaikkan dengan kelipatan sepuluh lalu hubungan antara ukuran mesin dengan intensitas kebisingan ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$I \approx V^{1,75}$$

Dimana : kecepatan yang digunakan adalah kecepatan pada crankshaft, dan V adalah volume total dari silinder.

#### 2.6.7. Kebisingan Pada Mesin Diesel Dengan Turbocharge.

Tingginya peningkatan penggunaan mesin diesel dengan turbocharge dikarenakan mesin ini memiliki putaran yang lebih bagus. Turbocharge akan menyebabkan output pada mesin akan lebih besar, konsumsi bahan bakar akan lebih baik, memudahkan pengontrolan terhadap emisi gas buang, dan akan mengurangi berat mesin sehingga pengaruh terhadap kebisingan akan menurun. (Leo L. Baranek, 1992).

Bagian dari beban penuh tekanan puncak silinder menyebabkan mesin dengan turbocharge menimbulkan tingkat kebisingannya lebih tinggi 30-60% bila dibandingkan dengan mesin menyerap udara secara alami. Tingginya puncak tekanan pada silinder menyebabkan tingkat kebisingan pada mesin akan meningkat. Berkembangnya tekanan silinder yang halus hanya terjadi pada kondisi tertentu dan untuk area kecil yang terbuka dengan kecepatan dan beban.



Dengan berkurangnya kecepatan dan beban dari laju tekanan dari silinder yang berbentuk pulsa yang timbul secara alami, membuat kita harus mendesain ulang mesin agar sama dengan mesin dengan udara masuk secara normal. Sebab dengan timbulnya tekanan turbocharge pada mesin ini akan menambah tingkat kebisingan yang lebih besar daripada mesin yang normal.

Efek dari pembakaran yang halus pada tingkat kebisingan adalah:

- a. Dengan penggunaan tekanan didalam silinder yang halus, akan menurunkan kebisingan yang ditimbulkan, hal ini akan terjadi pada mesin yang menggunakan turbocharge hanya saja tanpa pengaruh dari perubahan kecepatan dan beban.
- b. Tingginya puncak tekanan pada silinder menyebabkan komponen mesin yang lain ikut menimbulkan kebisingan.

Dua kombinasi yang ditimbulkan dari dua sumber kebisingan (mekanik dan kebisingan), kecepatan terhadap kebisingan pada mesin dengan turbocharge dapat kita hitung dengan rumus:

$$\begin{aligned} \text{BebanPenuh} : I &\approx N^{1,6-2} \\ \text{SetengahBe ban} : I &\approx N^{1,5-1,8} \\ \text{TanpaBeban} : I &\approx N^{2,6-3,5} \end{aligned}$$

Tingkat kebisingan pada mesin dengan turbocharge tanpa beban sama besarnya dengan tingkat kebisingan pada mesin diesel dengan injeksi langsung yang tanpa turbocharge.

#### 2.6.8. Tingkat Kebisingan Pada Motor Diesel Dua Langkah.

Tingkat kebisingan motor diesel dua langkah pada prinsipnya hampir sama dengan tingkat kebisingan pada motor diesel empat langkah hanya saja perbedaan yang mendasar adalah banyaknya kompresi yang digunakan, dimana motor diesel dua langkah hanya menggunakan satu langkah kompresi dan pada empat langkah menggunakan dua kali langkah kompresi.

Dengan berbedanya jumlah kompresi pada motor diesel dua langkah dan empat langkah sehingga tingkat keharmonisan component berbeda. Dengan meneliti power yang sama akan kita dapatkan hal-hal sebagai berikut:

- Frekuensi rendah pada motor dua langkah akan timbul lebih tinggi, ini akan menyebabkan komponen akan lebih harmonik.
- Tingkat kebisingan pada motor dua langkah tingkat kebisingannya akibat tekanan silinder 6 dB lebih rendah daripada motor empat langkah.

Jika dibandingkan dengan kecepatan atau putaran yang sama tekanan silinder pada motor dua langkah menyebabkan tingkat kebisingannya 6 dB lebih besar bila dibandingkan dengan motor empat langkah. (*Richard Lyon, 1987*)

Motor diesel selalu mengeluarkan bunyi yang lebih keras dari motor otto karena motor diesel bekerja dengan tekanan pembakaran yang lebih tinggi dan laju kenaikan tekanannya lebih cepat (*Wiranto Arismunandar, 1975*). Table dibawah ini menunjukkan bahwa kebisingan yang timbul pada motor diesel putaran rendah mempunyai nilai yang paling rendah bila dibandingkan dengan kebisingan yang timbul pada motor diesel putaran sedang maupun putaran tinggi.



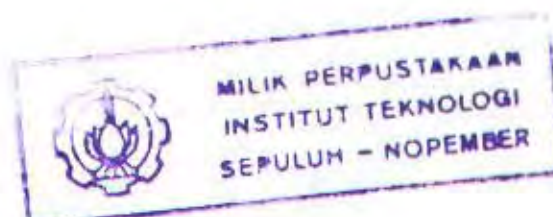
Meskipun demikian pada kenyataannya daya bunyi yang dipancarkan oleh motor diesel putaran rendah akan lebih besar bila dibandingkan dengan daya bunyi yang ditimbulkan motor diesel putaran sedang maupun putaran tinggi.

Tabel 2.2. Tingkat Kebisingan Pada Peralatan Mesin  
(*Japanesse Industrial Standart*)

No.	Type Of Machinery	Noise Level (dB)
1.	Main diesel engine low speed	100
2.	Main diesel engine medium speed	105
3.	Main diesel engine high speed	110
4.	Diesel generator engine	105 – 110
5.	Main steam turbine	95
6.	Turbo generator	100
7.	Forced draft fan	105
8.	Turbine for change oil pump	105
9.	Cargo oil pump	115
10.	Feed water pump	105
11.	Hydraulic pump	105
12.	Electric pump	95

Secara umum kebisingan yang timbul pada motor diesel dapat dibedakan berdasarkan sumber datang suara tersebut, yaitu :

- ❖ Kebisingan akibat proses pembakaran dalam silinder dan system saluran gas buang.
- ❖ Kebisingan yang timbul pada elemen motor seperti cam, gear, mekanisme engkol, silinder, dan bearing.



### 2.6.9. Tingkat Kebisingan Yang Diperbolehkan.

Kebisingan sangat berpengaruh pada fisik dan kejiwaan manusia, pada fisik manusia akan menyebabkan ketulian dan berkurangnya pendengaran. Pengaruh kebisingan pada kejiwaan manusia adalah:

1. Bunyi keras secara tiba-tiba akan mempercepat gerakan seseorang.
2. Mempengaruhi ketepatan dalam melakukan pengerjaan pengukuran.
3. Mengganggu komunikasi.

Pengaruh kebisingan pada seseorang akan berbeda karena tergantung pada daya tahan seseorang. (OSHA, 1981)

Kebisingan akibat penggunaan mesin diesel tidak gapat kita hindarkan karena pada proses pembakaran dengan temperatur dan tekanan tinggi akan lebih tinggi tingkat kebisingannya dibandingkan dengan motor bensin. Tetapi kebisingan akibat penggunaan mesin ini masih diperbolehkan asal tetap dibawahambang batas yang telah ditentukan. Pada tahun 1981 *Occupational Safety and Health Act (OSHA)*; melakukan kebijakan untuk pengaturan kebisingan, yaitu:

1. Para pekerja tidak diperbolehkan berada di tempat kebisingan lebih 90 dB(A) selama 8 jam.
2. Bunyi impulsif (pukulan) tidak boleh lebih dari 140 dB.
3. Para pekerja harus menggunakan pelindung telinga.
4. Perlu adanya pemeriksaan audiometrik untuk pekerja yang berada ditempat kebisingan 85 dB(A) dalam 8 jam sehari.



OSHA juga memberi batasan tingkat kebisingan yang diperbolehkan yaitu:

Tabel 2.3. Tingkat Kebisingan Yang Diperbolehkan (OSHA 1981)

Duration per day (hours)	Sound level dB(A)
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1,5	102
1	105
0,5	110
0,25	115

Dan diperbaharui pada tahun 1984:

Tabel 2.4. Tingkat Kebisingan Yang Diperbolehkan OSHA 1984)

Sound Level dB(A)	Time Permitted Hours-Minutes	Sound Level dB(A)	Time Permitted Hours-Minutes
85	16-0	101	1-44
86	13-56	102	1-31
87	12-8	102	1-19
88	10-34	104	1-9
89	9-11	105	1-0
90	8-0	106	0-52
91	6-58	107	0-46
92	6-4	108	0-40
93	5-17	109	0-34
94	4-36	110	0-30
95	4-0	111	0-26
96	3-29	112	0-23
97	3-2	113	0-20
98	2-50	114	0-17
99	2-15	115	0-15
100	2-0		



**BAB III**  
**METODOLOGI**



## **BAB III**

### **METODOLOGI**

#### **3.1. Umum.**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Penelitian dimulai dengan pembuatan jelantah ethyl ester melalui proses esterifikasi. Untuk mengetahui karakteristiknya maka dilakukan pengujian sifat kimia dan fisiknya. Tingkat getaran dan kebisingan akibat penggunaan bahan bakar jelantah ethyl ester diukur dalam pengujian pada mesin diesel satu silinder. Penelitian ini dilakukan bersama dengan Saudara Soni Fahruri yang bertepatan mengambil tugas akhir dengan judul studi eksperimen unjuk kerja motor diesel menggunakan bahan bakar jelantah ethyl ester. Sehingga dalam beberapa hal ada kemiripan.

#### **3.2. Esterifikasi.**

##### **3.2.1. Penyiapan Unit Esterifikasi.**

Proses esterifikasi yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada penelitian sebelumnya. Alat yang digunakan dalam penelitian inipun mengacu pada penelitian yang sudah ada. Karena ada keterbatasan dana maka alat yang penulis gunakan adalah alat dapur. Walaupun alat yang penulis gunakan sangat sederhana tetapi secara prinsip penggunaan alat tersebut sama dengan alat yang digunakan oleh peneliti sebelumnya, tetapi sebagai catatan alat yang digunakan

tidak boleh ikut bereaksi dalam proses esterifikasi. Alat yang digunakan dalam proses esterifikasi adalah sebagai berikut :

1. Kompor.
2. Panci Stainless steel.
3. Alat timbang.
4. Alat saring.
5. Tabung reaksi.
6. Gelas ukur.
7. Pipet.
8. Alat pengaduk.
9. Sarung tangan.
10. Masker.
11. Thermometer.
12. Stopwatch.

Bahan-bahan yang perlu dipersiapkan dalam proses pembuatan bahan bakar jelantah ethyl ester, antara lain :

1. Minyak jelantah.
2. Ethanol.
3. KOH.
4. Asam cuka.
5. Dest water.



### 3.2.2. Produksi Jelantah Ethyl Ester.

Produksi jelantah ethyl ester dalam penelitian ini dengan menggunakan metode transesterifikasi yang berpedoman pada proses esterifikasi yang dilakukan oleh *Pelly dan Kae (2000)*. Untuk mendapatkan jelantah ethyl ester dari minyak jelantah harus melalui beberapa tahap, yaitu :

1. Pembersihan minyak jelantah dari sisa kotoran dan air sisa penggorengan.
2. Katalisasi asam minyak dengan ethanol dalam rangka esterifikasi.
3. Pencucian jelantah ethyl ester agar mendapatkan jelantah ethyl ester dengan PH normal.

dimana tahap ini adalah sebagai berikut:

#### *I. Tahap Pembersihan.*

Tahap pembersihan minyak jelantah dari kotoran sisa penggorengan dilakukan dengan jalan penyaringan pada suhu 35°C, dilanjutkan dengan pemanasan sampai 100 °C untuk memisahkan kandungan air dalam minyak jelantah dan didinginkan kembali.

#### *II. Tahap Esterifikasi.*

Tahap esterifikasi dimulai dengan menambahkan ethanol sebanyak 12,5% kedalam minyak jelantah dan diaduk selama 5 menit, untuk mendapatkan campuran yang sempurna proses ini dilakukan pada suhu 48 – 55 °C. Proses ini dihentikan dengan menambahkan dan diaduk selama 55 menit, dan tak lupa suhu tetap dijaga. Setelah proses ini selesai maka didiamkan selama 60 menit. Untuk menunggu proses ini maka dapat digunakan untuk membuat ethoxide dengan cara

menambahkan 25% KOH kedalam ethanol. Untuk mendapatkan gliserol yang terkandung dalam minyak jelantah maka dari proses penghentian ditambahkan 75% ethoxide kedalam minyak jelantah yang telah diproses dan setelah 55 – 60 menit pengadukan dihentikan yang kemudian didiamkan selama 6 – 12 jam. Dari tahap ini kita dapatkan gliserol pada tahap pertama dan untuk mendapatkan gliserol pada tahap II dapat diperoleh dengan penambahan sisa ethoxide dari proses pertama dari minyak jelantah disertai pengadukan selama 55 menit, untuk mendapatkan hasil yang baik suhu tetap dijaga pada temperatur 48 - 55°C, dari proses ini didiamkan selama 6 – 12 jam untuk mendapatkan jelantah ethyl ester.

### *III. Tahap Pencucian.*

Tahap pencucian digunakan untuk mendapatkan jelantah ethyl ester dengan PH yang normal. Pencucian jelantah ethyl ester dilakukan dengan cara menambahkan distelated water ke dalam jelantah ethyl ester dengan volume 1:1 sehingga teremulsi. Untuk mengatasi emulsi yang terjadi maka ditambahkan asam cuka sebanyak 2% dan dilakukan pembubelan. Asam cuka yang digunakan adalah asam cuka kuat untuk cuka 25% dapat kita campurkan kedalam jelantah ethyl ester sebanyak 7 ml. Jelantah ethyl ester dapat didapatkan kemvali dengan PH yang normal dengan jalan pengeringan hasil pembubelan selama  $\pm$  6 – 12 jam.



#### *IV. Tahap Pengeringan.*

Tahap ini digunakan untuk memisahkan jelantah ethyl ester dengan air. Proses ini dilakukan dengan cara memanaskan jelantah ethyl ester yang telah dicuci sampai pada suhu 130°C.

### **3.3. Uji Karakteristik Jelantah Ethyl Ester.**

Setelah jelantah ethyl ester dapat diproduksi maka perlu adanya pengujian karakteristiknya. Proses pengujian ini dilakukan di Balai Industri, Departemen Industri Dan Perdagangan, Surabaya. Setelah bahan bakar siap dilanjutkan dengan engine set-up, dalam menset-up engine perlu pengecekan alat-alat yang digunakan, instrumen-instrumen dan pengkalibrasian alat-alat ukur yang digunakan.

### **3.4. Engine Set-Up.**

Engine Set-up dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari motor diesel itu sendiri dan apakah dapat digunakan untuk percobaan. Untuk keperluan ini digunakan sebuah motor diesel empat langkah dengan satu silinder. Motor diesel dihubungkan dengan sebuah generator dengan menggunakan belt untuk mengukur besarnya brake power engine. Prosedur pengujian motor diesel dapat dilihat pada gambar 3.1. Pengujian motor diesel.



Gambar 3.1. Pengujian motor diesel.

### 3.5. Pra-Eksperimen.

Pra eksperimen dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari motor diesel dengan menggunakan bahan bakar konvensional. Diharapkan data yang dihasilkan dari percobaan ini dapat digunakan sebagai data pembandingan dengan data yang dihasilkan pada eksperimen dengan memakai B100, dan Bxx. Untuk pembebanan motor diesel dikopel dengan sebuah generator satu phase untuk mengukur besarnya brake power dari engine. Spesifikasi motor diesel dan generator dapat dilihat sebagai berikut :

#### 3.5.1. Spesifikasi Motor Diesel.

Merek	: DONG FENG
Model	: R180
Tipe	: Single cylinder, horizontal, water cooled



Jumlah langkah	: 4 langkah
Diameter silinder	: 80 mm
Langkah piston	: 80 mm
Rasio kompresi	: 21 : 1
Piston displacement	: 0,402 L
Putaran maksimum	: 2600 rpm
Daya maksimum	: 5,67 KW (7,7 PS)
Specific fuel consumption	: 269,3 g/KW.h (198 g/PS.h)
Specific lub. oil consumption	: 3,4 g/KW.h (2,5 g/PS.h)

### 3.5.2. Spesifikasi Generator.

Merk	: MIN DONG
Type	: ST 7,5
Daya maksimum	: 7,5 Kw
Voltage	: 230 V
Frequency	: 50 Hz
Putaran maksimum	: 1500 rpm
Cos $\phi$	: 1
Phase	: 1

### 3.5.3. Spesifikasi Bahan bakar.

Bahan bakar yang digunakan pada pra eksperimen ini yaitu minyak solar produksi Pertamina yang ada di pasaran Indonesia. Sifat-sifat kedua jenis minyak ini dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.1. Karakteristik Bahan Bakar Minyak Solar Pertamina.

Tests		Minyak Solar	Minyak Diesel
Strong Acid Number	mg KOH/g	Nil	Nil
Flash Pont PM cc	$^{\circ}\text{C}$	75	85
Pour Point	$^{\circ}\text{C}$	2	5
Sediment	%wt	Nil	0.008
Specific Gravity	15/15 $^{\circ}\text{C}$	0.8373	0.8646
Sulpur Content	%wt	0.40	1.30
Viscosity Kin./100 $^{\circ}\text{F}$	Cst	4.50	-
Water Content	% Vol	Nil	0.02
Calorific Value, Gross	kcal/ltr	9063	9270
Visco. Redwood 1, 100 $^{\circ}\text{F}$	Second	-	38.67

Minyak nabati yang dipergunakan dalam penelitian ini yaitu minyak jelantah (waste vegetable oil) yang telah digunakan pada pabrik krupuk. Minyak jelantah tersebut direaksikan dengan ethanol dengan derajat kemurnian 96 %. Untuk membuat biodiesel, pada awalnya dalam skala kecil, yaitu dalam ukuran sekitar 1 liter larutan. Proses pembuatan dipelajari berkali-kali hingga diperoleh hasil yang paling baik. Pembuatan biodiesel dari minyak jelantah yang direaksikan dengan ethanol kurang begitu banyak hambatan karena referensi yang mendukung cukup banyak. Pencucian dan pengeringan merupakan problem yang perlu dicoba berkali-kali hingga diperoleh hasil yang baik. Penambahan asam merupakan percobaan yang tidak bisa dilakukan sekali jadi, dengan mencoba dan salah maka diperoleh formula penambahan asam yang dapat digunakan untuk digunakan pegangan sehingga diperoleh PH normal. Karakteristik Biodiesel dari jelantah ethyl ester dapat dilihat pada tabel berikut:



Tabel 3.2. Karakteristik Bahan Bakar Biodiesel

Parameter Uji	Bahan Bakar			Metode Uji
	Minyak Jelantah	Jelantah Ethyl Ester	Satuan	
Berat Jenis	0.91	0.9029		Piktometer
Titik Nyala	322	210	°C	Penyalaaan
Viskositas	69.19	68.37	Cst	Viskosimetri
Titik Tuang	9	7	°C	Pembekuan
Keasaman	1.571	5.146	Mg/KOH	Titrimetri
Air (Xylol)	2.16	2.05	%	Xylol
Sediment.	0.16	0.18	%	Gravimetri

Langkah-langkah percobaan pengujian motor diesel pada pra eksperimen sebagai berikut :

#### a. Tahap Persiapan

1. Memeriksa instalasi engine test bed (tangki bahan bakar, minyak pelumas, sistem bahan bakar, sistem pendingn, alat-alat yang digunakan, baut-baut pengikat, dll).
2. Memasang polley I generator (6 ") atau polley II generator (8").
3. Membuka kran sistem pendinginan.
4. Menstart engine.
5. Memanaskan engine hingga siap sekitar 15 menit pada putaran idle dan tanpa beban.

#### b. Tahap Pengukuran.

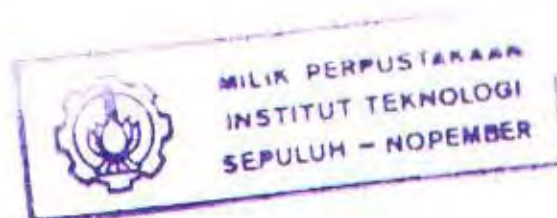
1. Menyiapkan bahan bakar kedalam gelas pengukur sehingga dapat diamati pemakaian bahan bakarnya.
2. Putaran motor ditingkatkan hingga putaran generator mencapai putaran 1500 rpm dan dijaga tetap konstan .

3. Beban diatur pada beban pertama sebesar 500 watt.
4. Dilakukan pengukuran yang meliputi arus armature, tegangan armature, pemakaian bahan bakar, tingkat getaran dan kebisingan.
5. Percobaan diulangi mulai no.1 sampai dengan no.4 dengan meningkatkan beban yang lebih tinggi sampai beban tidak dapat ditingkatkan lagi.
6. Tahap pengukuran dengan merubah putaran engine dengan cara mematikan engine dan mengganti polley pada engine dan dilanjutkan dengan urutan mulai no.1 sampai no.5.

Hasil dari pengukuran ditabelkan dan dilakukan perhitungan. Hasil pra eksperimen ini dapat digunakan untuk menentukan beban-beban (0%, 10%, 25%, 50%, 75%, 100%, dan 115%) yang perlu diamati sebagai perbandingan dengan menggunakan bahan bakar jelantah ethyl ester.

### **3.6. Komposisi Pemakaian Bahan Bakar Jelantah Ethyl Ester.**

Efek pemakaian jelantah ethyl ester pada motor diesel, tidak hanya terbatas pada pemakaian jelantah ethyl ester untuk menggantikan bahan bakar konvensional secara total (JEE100), namun juga terhadap pencampuran jelantah ethyl ester dengan bahan bakar konvensional pada berbagai variasi (JEE<sub>xx</sub>). Dengan demikian perlu dilakukan pembuatan JEE<sub>xx</sub> dengan mencampurkan jelantah ethyl ester dengan minyak solar.





Tabel 3.3. Komposisi Bahan Bakar.

Bahan Bakar	JEE 00	JEE 30	JEE 50	JEE 70	JEE 100
Minyak Solar (% Vol)	100	70	50	30	0
Jelantah Ethyl Ester (% Vol)	0	30	50	70	100

### 3.7. Eksperimen Di Engine Test Bed.

Eksperimen ini dilakukan untuk mengetahui tingkat getaran dan kebisingan engine dengan pemakaian jelantah ethyl ester sebagai bahan bakar. Percobaan dilakukan di ruang terbuka pada *konstan speed*. Data yang dihasilkan kemudian dicatat untuk dianalisa.

Pengukuran tingkat getaran dengan menggunakan alat FFT Analyser, pengukuran dilakukan selama 30 detik setiap satu kali pengambilan data. Peletakan Sensor getaran dari FFT Analyser berada di lima titik pengambilan data getaran yaitu di body atas dari motor diesel, pondasi kiri belakang (pondasi 1), pondasi kiri depan (pondasi 2), pondasi kanan belakang (pondasi 3), dan pondasi kanan depan (pondasi 4).

Pengukuran tingkat kebisingan dilakukan dengan menggunakan alat *sound level meter* digital jadi data yang diperoleh berupa angka, pengukuran dilakukan selama 30 detik setiap satu kali pengambilan data. Peletakan *sound level meter* berada di depan dan belakang motor diesel yang berjarak 1,2 meter, jarak 1,2 meter ini adalah nilai tengah dari 1 sampai 1,5 meter yang disyaratkan dalam *engine testing method*.

Hasil dari pengukuran ditabelkan dan dilakukan perhitungan. Hasil eksperimen ini digunakan dalam analisa untuk menentukan tingkat getaran dan

tingkat kebisingan motor diesel akibat menggunakan bahan bakar jelantah ethyl ester dan berbagai komposisi campurannya (JEE 00%, JEE 30 %, JEE 50%, JEE 70%, JEE 100%), percobaan ini juga dilakukan dengan variasi putaran (1900 rpm dan 2300 rpm), dan variasi pembebanan (0%, 10%, 25%, 50%, 75%, 100%, 115%).

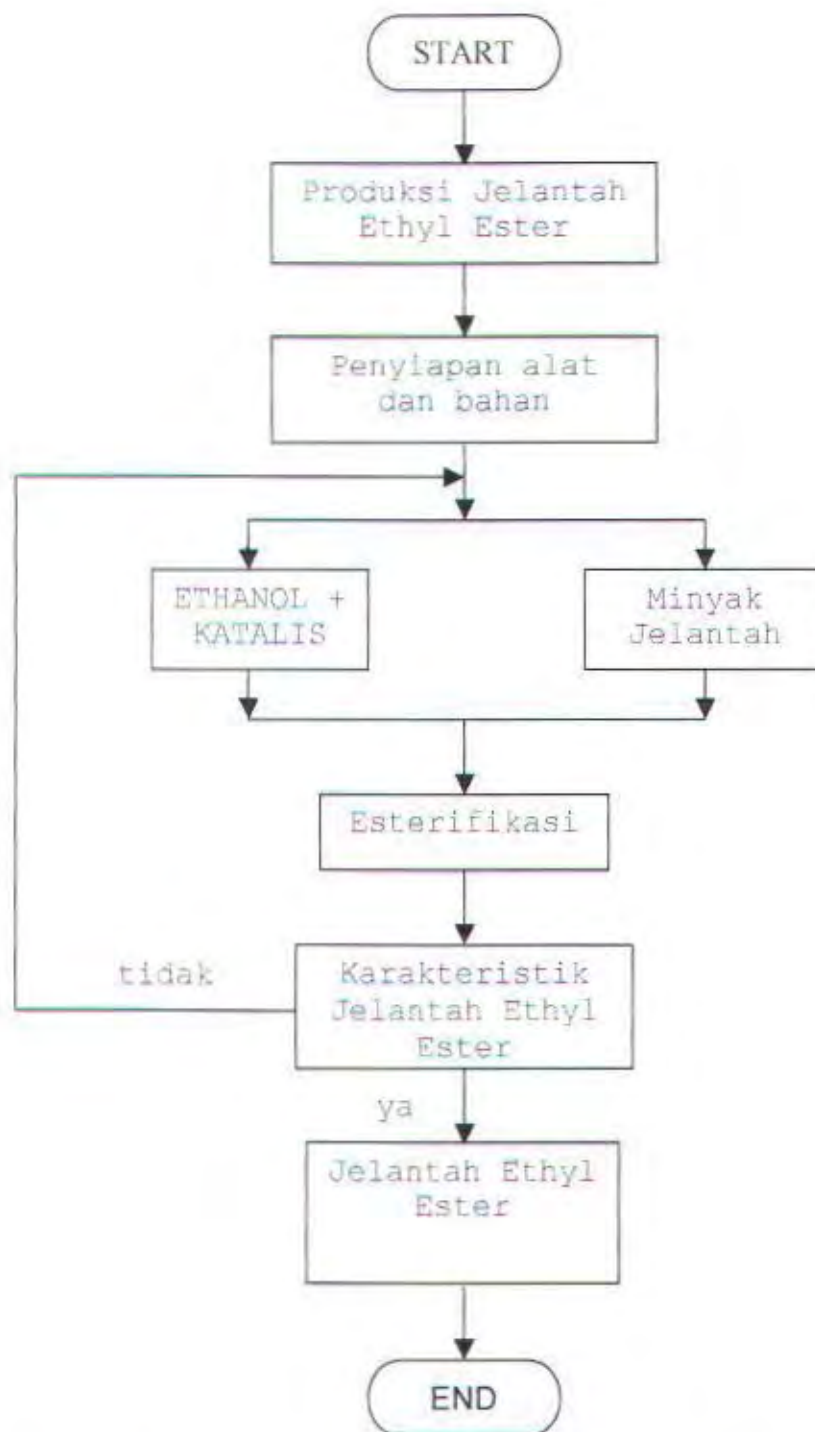
### **3.8. Analisa Tingkat Getaran Dan Kebisingan Dengan Menggunakan Bahan Bakar Jelantah Ethyl Ester.**

Eksperimen ini akan membahas tingkat getaran dan tingkat kebisingan, dengan variasi putaran dan variasi beban untuk setiap komposisi campuran bahan bakar jelantah ethyl ester.

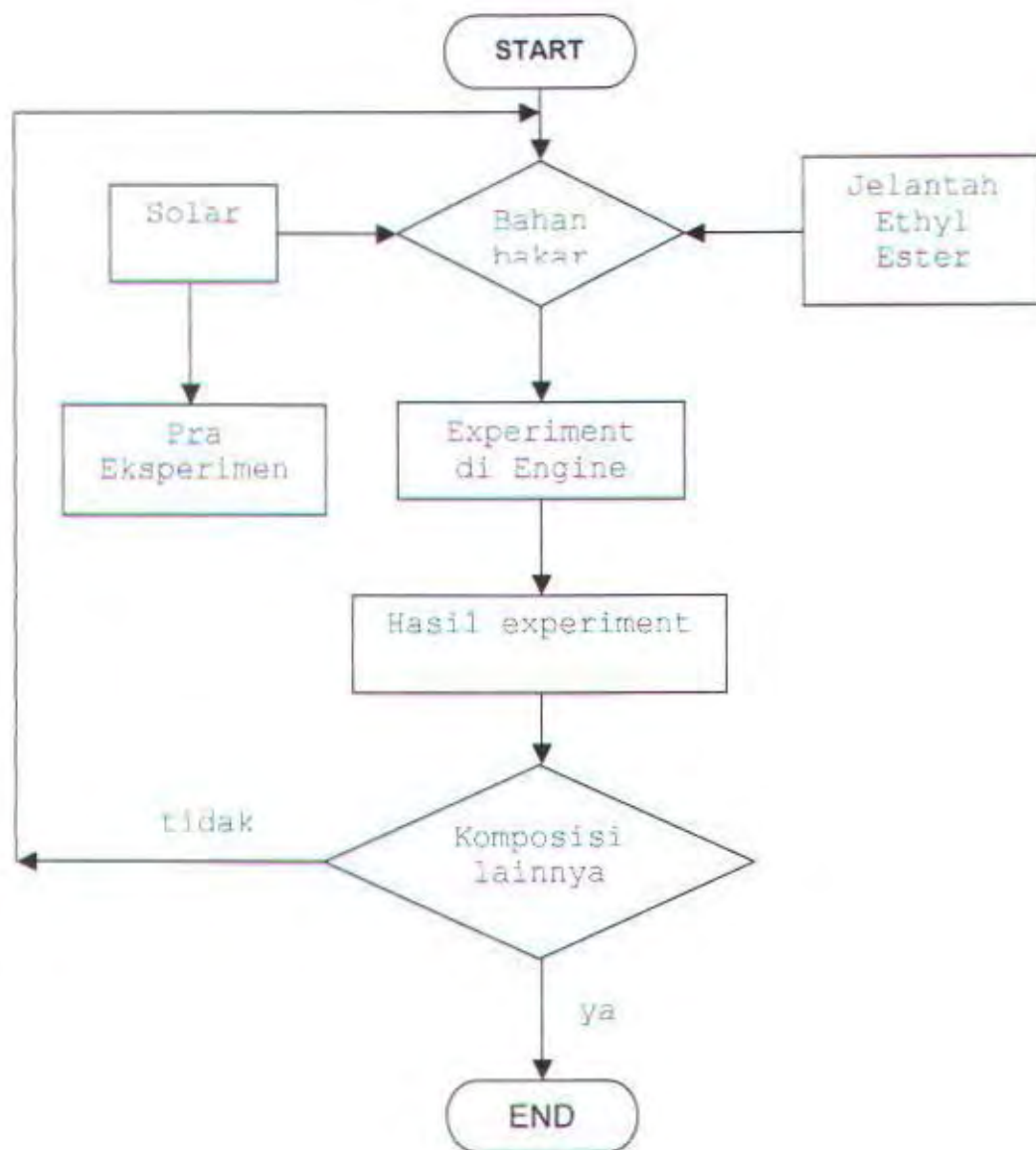
### **3.9. Kesimpulan.**

Kemudian dari hasil analisa dapat ditarik kesimpulan dari percobaan yang telah dilakukan.



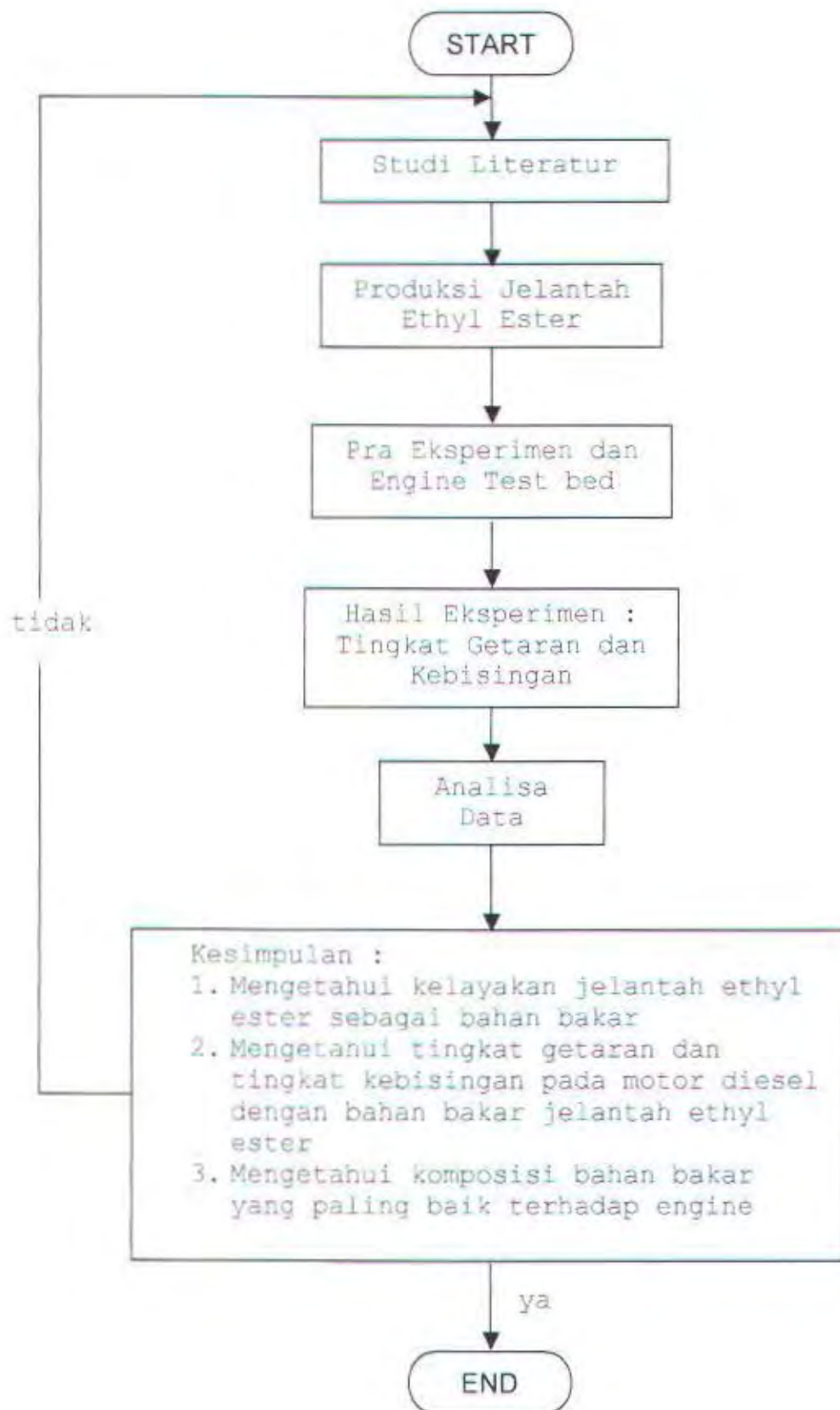


Gambar 3.2. Flowchart pembuatan jelantah ethyl ester .



Gambar 3.3. Flowchart pengujian di engine test bed.





Gambar 3.4. Flowchart metodologi pengerjaan tugas akhir



## **BAB IV** **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**



## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Hasil eksperimen ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Data-data ini dianalisa dan dilanjutkan dengan pembahasan. Ada 3 masalah utama yang terdiri dari :

1. Produksi Jelantah Ethyl Ester (JEE).
2. Karakteristik Jelantah Ethyl Ester (JEE) dan hasil campurannya (JEExx).
3. Tingkat Getaran dan Tingkat Kebisingan motor diesel dengan menggunakan bahan bakar Jelantah Ethyl Ester (JEE).

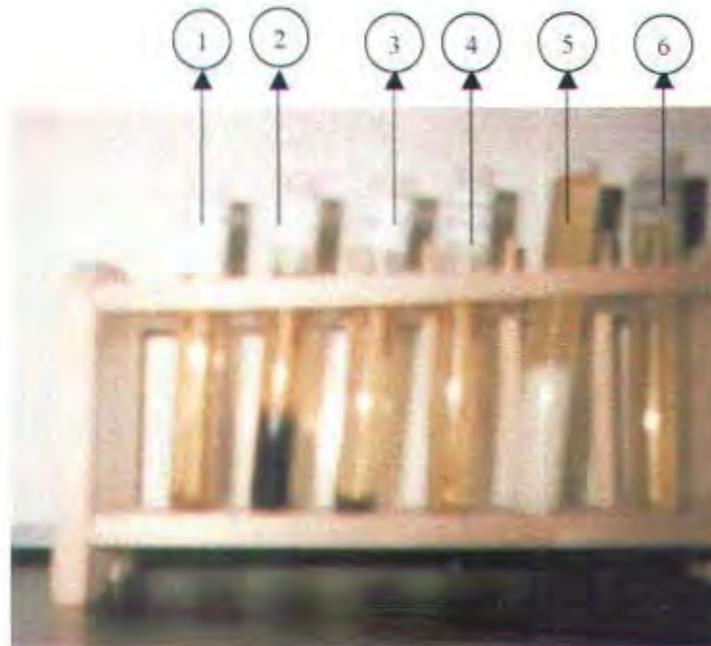
#### **4.1. Produksi Jelantah Ethyl Ester**

Bahan yang dipergunakan dalam pembuatan Jelantah Ethyl Ester ini merupakan minyak Jelantah dari pabrik kerupuk industri rumah tangga (home industri). Produksi Jelantah Ethyl Ester ini dilakukan dengan metode esterifikasi. Teknik pemroduksian dapat dilihat pada lampiran A. Dalam pemroduksian Jelantah Ethyl Ester ini pertama-tama dibuat dalam sekala kecil terlebih dahulu. Baru setelah uji coba beberapa kali dan mendapatkan hasil yang cukup baik barulah dibuat dalam sekala yang lebih besar. Oleh karena adanya keterbatasan volume dalam memproduksi Jelantah Ethyl Ester yang dihasilkan dengan menggunakan peralatan-peralatan dapur, maka untuk dapat memenuhi kebutuhan

Jelantah Ethyl Ester selama eksperimen, Jelantah Ethyl Ester diproduksi dalam beberapa tahap. Oleh karena produksinya berkali-kali maka dihasilkan kualitas yang bervariasi. Untuk itu diperlukan sampling design untuk membuat analisa statistik tentang biodiesel yang telah dibuat. Disini dipakai teknik fixed sampling design dengan tipe unrestricted random sample dengan menggunakan objek sample yang diambil secara random (*Nasir, 1999; Surakhmad 1998*). Pemakaian teknik ini dilatarbelakangi oleh alasan bahwa sample Jelantah Ethyl Ester yang diambil akan selalu homogen, metodenya mudah, dan sederhana.

Berdasarkan pengalaman dalam satu wadah minyak jelantah memerlukan perlakuan yang berbeda proses esterifikasinya. Hal ini biasanya untuk minyak jelantah bagian atas kecenderungan lebih bersih dibandingkan dengan lapisan dibawahnya. Walaupun sebelum dilakukan esterifikasi telah dilakukan pembersihan terhadap kotoran dari minyak jelantah tersebut. Sehingga diperlukan strategi yaitu penambahan komposisi dari prosentase KOH yang dilarutkan ketika esterifikasi dilakukan. Hal ini dilakukan ketika esterifikasi dilakukan belum terlihat dengan jelas adanya gliserol. Proses penambahan KOH ini dilakukan secara bertahap yaitu penambahan 10 % dari KOH yang telah dilarutkan. (*Peterson, 1996*).





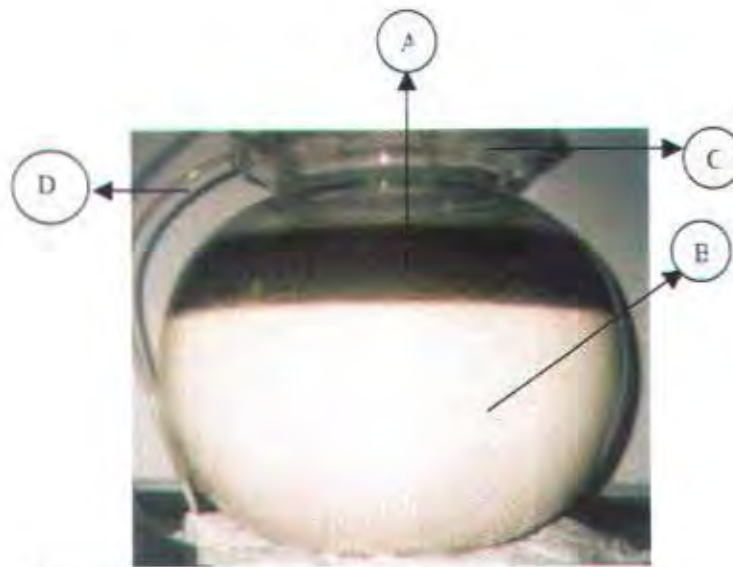
Gambar 4.1. Proses pembuatan Jelantah Ethyl Ester

Keterangan Gambar :

1. Minyak Jelantah
2. Hasil Step I sesudah dipisahkan Gliserol I
3. Hasil Step II sesudah dipisahkan Gliserol II
4. Jelantah Ethyl Ester sebelum dicuci
5. Jelantah Ethyl Ester Setelah Dicuci
6. Jelantah Ethyl Ester Stelah mengalami Proses Pengeringan.

Dalam proses esterifikasi dipergunakan esterifikasi type batch. Berhubung dana dalam eksperimen ini sangat terbatas maka reaktor yang dipergunakan menggunakan peralatan dapur yang pada prinsipnya penggunaan alat ini tidaklah jauh berbeda dengan cara kerja dari reaktor yang dipergunakan *Mike Pelly (2000)* dan *Aleks Kac (2001)*. Dengan demikian dengan pemanfaatan peralatan dapur ini sebagai alat untuk esterifikasi mampu menekan biaya yang diperlukan.

Gambar 4.1. di atas merupakan hasil dari tiap-tiap proses dalam pembuatan Jelantah Ethyl Ester. Mulai dari sample minyak jelantah yang dimanfaatkan untuk pembuatan Jelantah Ethyl Ester sampai hasil yang telah Jelantah Ethyl Ester yang siap untuk dipergunakan sebagai bahan bakar.



Gambar 4.2. Hasil Proses Pencucian (pembubelelan)

Keterangan Gambar :

- A. Minyak Jelantah Ethyl Ester.
- B. Emulsi Minyak Jelantah Ethyl Ester dengan Deswater
- C. Wadah untuk pembubelelan (Aquarium)
- D. Selang untuk pembubelelan

Gambar 4.2. adalah hasil proses pencucian minyak jelantahh Ethyl Ester. Pada proses pencucian ini dilakukan dengan cara *buble technique*. Proses ini dilakukan minimal selama 6 jam. Keterbatasan tempat yang dipergunakan menjadikan dalam setiap proses pencucian hanya 7 liter minyak yang dicampurkan dengan 7 liter deswater. Sebab untuk proses pencucian diperlukan perbandingan 1:1 antara minyak Jelantah Ethyl Ester dibandingkan Deswater. Proses pencucian ini bergantung dari jumlah asam cuka yang dilarutkan, apabila asam cuka yang dilarutkan kurang banyak akan muncul busa yang akan membuat amburadul proses pencucian. Tanda-tanda peristiwa ini biasanya dapat terlihat di awal-awal proses, apabila belum terjadi pemisahan antara minyak Jelantah Ethyl Ester dengan Deswater apalagi kalau terjadi busa maka perlu ditambahkan secara berkala sebanyak 10 % dari jumlah yang dimasukkan pada langkah awal buble



technique seperti yang dilakukan Kac, 2001. Kasus yang sering muncul adalah terjadinya emulsi, sehingga sangat sulit membedakan antara minyak Jelantah Ethyl Ester dengan Deswater. Hal ini terlihat warna emulsi berwarna putih susu.

Dari hasil pencucian diatas terlihat dengan jelas adanya dua bagian yang berbeda secara fisik. Untuk bagian yang atas merupakan lapisan minyak Jelantah Ethyl Ester yang telah terpisahkan dengan Deswater, sedangkan lapisan yang dibawah (berwarna putih seperti susu) merupakan percampuran antara minyak Jelantah dengan Deswater (terjadi emulsi antara minyak Jelantah Ethyl Ester).

Untuk lapisan yang atas bisa dipanaskan langsung sampai mencapai 130 °C, sedangkan lapisan yang bawah (berwarna putih susu) bukanlah berarti tidak bisa dipergunakan sebagai bahan bakar/hilang. Untuk memisahkan emulsi tersebut agak susah, akan tetapi bukan berarti tidak bisa. Hasil tersebut masih bisa dipisahkan dengan cara pengeringan akan tetapi proses pengeringan yang dilakukan perlu berhati-hati. Karena kandungan Deswater yang ada dalam percampuran tersebut ada dalam jumlah besar maka apabila langsung dipanaskan kemungkinan besar akan terjadi letupan. Penjelasan lebih lengkapnya bisa dilihat pada proses pengeringan.



Gambar 4.3. Hasil Proses Pengeringan

Keterangan Gambar :

- A. Jelantah Ethyl Ester
- B. Air
- C. Panci sebagai wadah dalam proses Pengeringan.

Proses pengeringan ini merupakan tahapan untuk memisahkan antara air dan minyak Jelantah Ethyl Ester. Proses ini dilakukan dengan cara memanaskan minyak sampai  $130^{\circ}\text{C}$ , apabila kandungan air terlalu banyak maka ketika terlihat kandungan air di dalam wadah, maka hendaknya dipisahkan terlebih dahulu, hal ini dilakukan berulang-ulang sehingga kandungan air (destwater) secara visual tidaklah terlihat. Tanda lain bahwasanya kandungan air telah sedikit adalah ketika dipanaskan, untuk mencapai suhu  $130^{\circ}\text{C}$  hampir dipastikan tidak ada letupan yang terjadi.

Hasil pemisahan air dengan minyak secara visual dapat dilakukan, yaitu lapisan minyak berada pada atas dan lapisan air berada dibawah (Berat Jenis air lebih besar daripada minyak). Secara Fisik hasil Jelantah Ethyl Ester setelah melalui proses pengeringan berwarna bening kuning keemasan. Hasil dari proses pengeringan inilah yang kemudian akan diuji karakteristiknya dan proses pengujian ini dilakukan di Laboratorium.

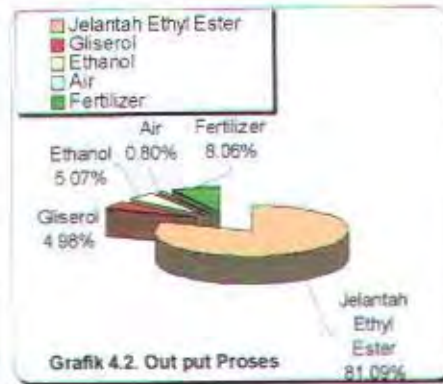
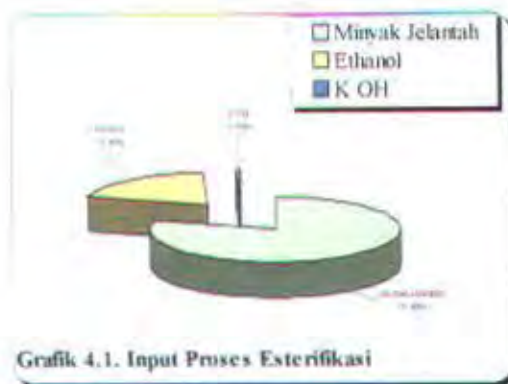
Produksi Jelantah Ethyl Ester memang agak rumit. Hal ini dikarenakan



minyak jelantah yang dipergunakan tidaklah homogen. Walaupun sebelum proses esterifikasi dilakukan sudah dilakukan penyaringan untuk menghilangkan kotoran yang ada namun viskositas yang ada dalam minyak jelantah tidaklah sama antar tiap-tiap lapisan yang ada.

Proses esterifikasi Jelantah Ethyl Ester sudah dapat dilakukan, namun hal ini masih perlu dikembangkan lagi agar mampu diperoleh karakteristik yang lebih baik. Hasil akhir dari proses esterifikasi Jelantah Ethyl Ester hanya mampu menghasilkan gliserol sebanyak rata-rata antara 5 - 7 % saja. Hal ini tentunya masih dapat ditingkatkan lagi guna meningkatkan kualitas dari Jelantah Ethyl Ester yang dihasilkan. Ada satu indikasi mengenai kualitas dari keberhasilan esterifikasi yaitu dilihat dari jumlah gliserol yang dihasilkan. Semakin banyak gliserol yang dihasilkan, viskositas dari Jelantah Ethyl Ester yang dihasilkan akan semakin kecil.

Keuntungan ketika menghasilkan gliserol sedikit yaitu produksi Jelantah Ethyl Ester akan meningkat yaitu antara 77 - 81 % dari bahan baku yang disediakan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada pie diagram pada Grafik 4.1. dan 4.2.



Banyak dan sedikitnya Glyserol yang dapat diproduksi juga sangat erat kaitannya dengan karakteristik fisik yang dihasilkan. Warna juga dapat sebagai indikator keberhasilan dari pemrosesan biodiesel. Dengan kualitas bahan baku yang sama, apabila hasil glyserolnya sedikit dan warna ester yang cenderung gelap maka diperoleh viskositas yang tinggi. (Zuhdi, 2002), (Adryan, 2002).

## 4.2. Karakteristik Jelantah Ethyl Ester dan hasil campurannya (JEE<sub>xx</sub>).

### 4.2.1. Karakteristik Jelantah Ethyl Ester

Ada dua karakteristik yang dilakukan pengujian agar nantinya hasil yang diperoleh dapat dipergunakan sebagai perbandingan. Pengujian karakteristik Jelantah Ethyl Ester dilakukan di dalam laboratorium, dilakukan pada sample yang diambil secara acak dengan tehnik sampling design yang sama. Pengujian karakteristik ini dilakukan di Departemen Perindustrian dan Perdagangan Republik Indonesia, Balai Riset dan Standarisasi Industri dan Perdagangan Surabaya.

Karakteristik minyak Jelantah yaitu berat jenis sebesar 0,91 sedangkan hasil berat jenis dari minyak jelantah Ethyl Ester sebesar 0,9029. Titik nyala mengalami penurunan yang cukup drastis yaitu untuk minyak jelantah sebesar 322



$^{\circ}\text{C}$  sedangkan untuk minyak Jelantah Ethyl Ester sebesar  $210^{\circ}\text{C}$ . Atau bisa dikatakan terjadi penurunan titik nyala sebesar  $115^{\circ}\text{C}$ .

Untuk viskositas dari kedua bahan bakar tersebut terlihat masih terlalu tinggi yaitu untuk minyak jelantah sebesar 69,19 cst sedang minyak Jelantah Ethyl Ester sebesar 68,37 cst. Dengan viskositas sebesar ini dimungkinkan terjadi gangguan pada saluran bahan bakar. Bisa terjadi keausan dini pada saluran bahan bakar (injektor). Berdasarkan hasil yang diperoleh dari esterifikasi ini menandakan kurang bagus. Karena biasanya hasil yang diperoleh menunjukkan penurunan drastis dari viskositas. Hasil yang kurang bagus ini diperkirakan dikarenakan ketidakstabilan dalam proses atau juga faktor ketelitian serta waktu pemrosesan yang semuanya sangat berpengaruh terhadap kualitas biodiesel yang dihasilkan (Zuhdi, 2002).

Titik tuang dari minyak Jelantah sebesar  $9^{\circ}\text{C}$  sedangkan ketika telah menjadi Jelantah Ethyl Ester menjadi  $7^{\circ}\text{C}$ . Dengan titik tuang yang lebih kecil ini menguntungkan bagi minyak Jelantah Ethyl Ester karena dengan kondisi seperti ini memungkinkan minyak Jelantah Ethyl Ester menjadi tidak mudah membeku.

Keasaman minyak Jelantah sebesar 1,571 mg/KOH sedangkan untuk minyak Jelantah Ethyl Ester sebesar 5,146 mg/KOH, hal ini tentunya kurang menguntungkan karena dengan keasaman sebesar ini akan membuat komponen mesin menjadi cepat aus. Peningkatan keasaman ini kemungkinan pada saat proses pencucian penambahan asam cuka berlebih, sehingga keasaman menjadi meningkat sampai mencapai angka tersebut.

Kandungan air (xylol) yang ada dalam minyak jelantah sebesar 2,16 % sedangkan minyak Jelantah Ethyl Ester sebesar 2,05 %. Untuk kandungan air pada minyak Jelantah Ethyl sebesar itu bergantung pada saat proses pengeringan yang dilakukan. Dengan xylol sebesar itu tentunya masih dapat diturunkan lagi yaitu dengan lebih cermat lagi ketika memproses pengeringan dari minyak Jelantah Ethyl Ester. Penjelasan diatas dapat dilihat melalui tabel berikut ini :

Tabel 4.1. hasil uji karakteristik minyak jelantah dan jelantah ethyl ester

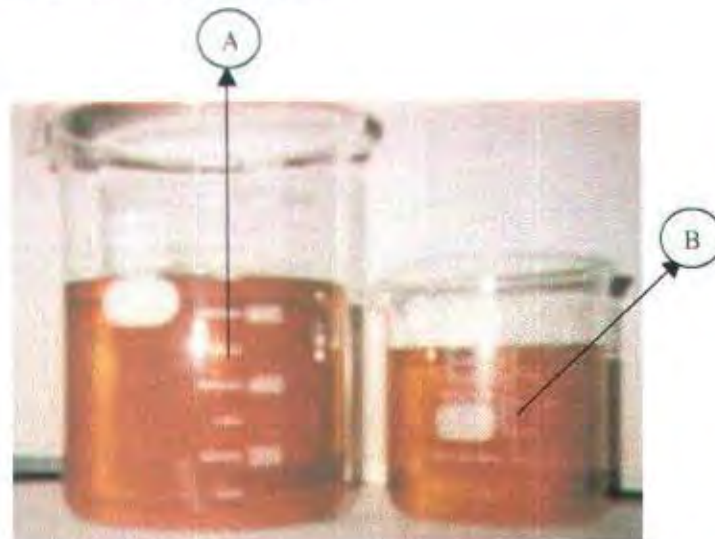
Parameter Uji	Bahan Bakar			Metode Uji
	Minyak Jelantah	Jelantah Ethyl Ester	Satuan	
Berat Jenis	0.91	0.9029		Piktometer
Titik Nyala	322	210	°C	Penyalaaan
Viskositas	69.19	68.37	Cst	Viskosimetri
Titik Tuang	9	7	°C	Pembekuan
Keasaman	1.571	5.146	Mg/KOH	Titrimetri
Air (Xylol)	2.16	2.05	%	Xylol
Sediment.	0.16	0.18	%	Gravimetri

#### 4.2.2. Karakteristik percampuran minyak solar dengan minyak Jelantah Ethyl Ester (JEE xx)

Percampuran dari minyak Jelantah Ethyl Ester dengan minyak solar (JEE xx) menjadikan hal yang perlu untuk dibicarakan mengingat banyak bahan baku yang dapat dimanfaatkan sebagai biodiesel . Padahal setiap bahan baku yang berbeda mempunyai karateristik yang berbeda sehingga apabila dicampurkan dua jenis biodiesel belum tentu cocok atau bahkan tidak dapat tercampur dengan baik. Untuk ini dilakukan secara eksperimen proses percampuran antara minyak



Jelantah Ethyl Ester dengan minyak solar dan hasil yang diperoleh disajikan secara visual dan sebagai pembandingan untuk proses pencampuran ini disajikan hasil pencampuran antara minyak Jelantah dengan minyak solar. Adapun hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut :



Gambar 4.4. Visualisasi perbandingan antara minyak solar dan Jelantah Ethyl Ester

Keterangan Gambar :

- A. Minyak Solar
- B. Jelantah Ethyl Ester

Dari gambar 4.4 diatas terlihat ada dua bahan yang berbeda. Untuk bagian yang A merupakan minyak solar dengan takaran sebanyak 700 mL, sedangkan untuk yang B merupakan minyak Jelantah Ethyl Ester sebanyak 300 mL. Dari kedua bahan tersebut akan dicampurkan agar nantinya secara visual dapat dilihat hasil pencampuran (blending) dari kedua bahan tersebut.



Gambar 4.5. Percampuran (blending) antara minyak solar dan Jelantah Ethyl Ester

Keterangan Gambar :

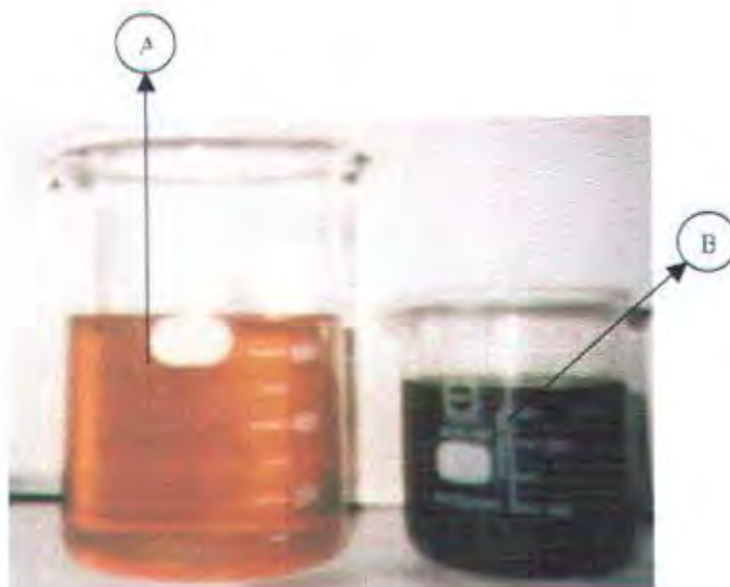
1. Hasil Percampuran minyak solar dengan Jelantah Ethyl Ester
2. Wadah Jelantah Ethyl Ester

Hampir semua literatur mengatakan bahwasanya biodiesel mampu larut ke dalam minyak solar. Dari gambar diatas terlihat bahwasanya dari percampuran antara minyak solar dengan minyak Jelantah Ethyl Ester dapat terjadi percampuran sempurna atau tidak menimbulkan separasi.

Apabila dalam proses percampuran tidak dapat bercampur dengan baik maka dicoba dengan memanaskan kedua bahan bakar sampai mencapai suhu 50 °C agar tidak terjadi separasi. (Zuhdi, 2002).

Minyak Jelantah Ethyl Ester dapat bercampur secara sempurna dengan minyak solar dengan perbandingan komposisi berapapun. Hal ini dapat dilihat secara visual dari gambar 4.5., yang terlihat bahwasanya tidak terjadi separasi antara kedua bahan bakar tersebut. Percampuran ini membentuk karakteristik yang baru, sehingga sisi positif dari kedua bahan bakar dapatlah dimanfaatkan dan kelemahan dari kedua bahan bakar dapat tereliminir.

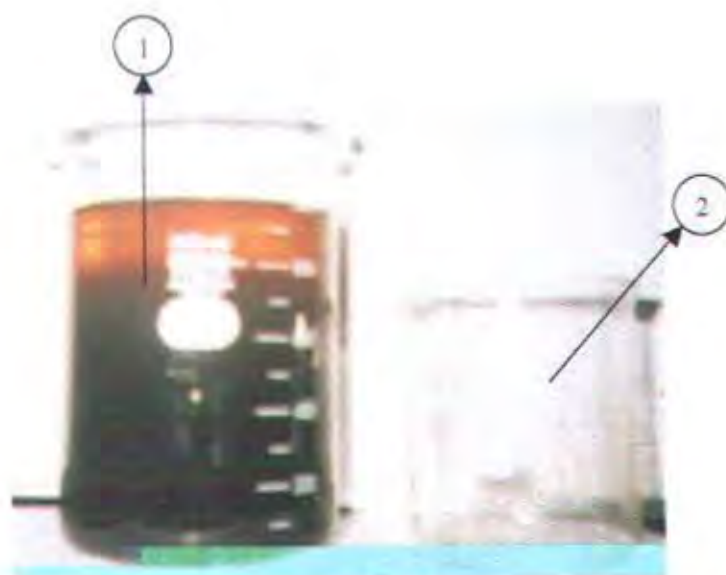




Gambar 4.6. Perbandingan secara Visualisasi antara Minyak Solar dengan Minyak Jelantah

Keterangan Gambar : A. Minyak Solar; B.Minyak Jelantah

Sebagai perbandingan dari percampuran antara minyak Jelantah Ethyl Ester dengan minyak solar, perlu kiranya ditampilkan pula percampuran antara minyak jelantah dengan minyak solar. Dari gambar diatas terlihat ada dua bahan yang berbeda. Untuk bagian yang A merupakan minyak solar dengan takaran sebanyak 700 mL., sedangkan untuk yang B merupakan minyak Jelantah sebanyak 300 mL. Dari kedua bahan tersebut akan dicampurkan agar nantinya secara visual dapat dilihat hasil percampuran (blending) dari kedua bahan tersebut. Secara visual bahwasanya minyak solar berwarna kuning jernih keemas-emasan, sedangkan minyak jelantah berwarna hitam pekat. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwasanya untuk minyak jelantah mempunyai karakter yang berbeda pada setiap lapisan bagiannya. Untuk contoh ini diambil dari bagian yang tengah, sehingga diharapkan mampu mewakili dari minyak jelantah bagian atas maupun minyak jelantah bagian bawah.



Gambar 4.7. Percampuran (blending) antara minyak solar dengan Minyak Jelantah.

Keterangan Gambar :

1. Hasil Percampuran solar dan minyak jelantah
2. Wadah dari minyak jelantah

Secara visual dapatlah kiranya dilihat percampuran antara minyak solar dengan minyak jelantah tidak mampu bercampur secara sempurna atau dikatakan terjadi separasi. Kondisi ini tentunya berbeda dengan ketika minyak Jelantah Ethyl Ester yang dicampurkan dengan minyak Solar.

Hasil proses esterifikasi yaitu Jelantah Ethyl Esterifikasi menunjukkan perubahan yang significant dari bahan bakunya. Viskositas yang ada memang masih menunjukkan hasil yang kurang baik. Hal inilah yang memerlukan pengembangan proses esterifikasi yang lebih baik lagi agar Viskositas Jelantah Ethyl Ester dapat memenuhi standart dari *National Biodiesel Board*. Diperkirakan hasil dari pengujian karakteristik yang jelek ini kemungkinan sample yang diujikan karakteristiknya memang jelek. Jika dilihat dari viskoditas minyak Jelantah sebesar 69,19 sedangkan minyak Jelantah Ethyl Ester 68,53.



Dengan perbedaan seperti itu dimungkinkan belum terjadi perubahan dari minyak Jelantah menjadi minyak Jelantah Ethyl Ester. Sample yang diduga telah menjadi Jelantah Ethyl Ester sebenarnya masih berupa minyak Jelantah.

Salah satu indikasi keberhasilan dalam proses pembuatan biodiesel adalah terjadinya penurunan Viskositas dari bahan baku yang dipergunakan. Perbedaan viskositas dari bahan baku (minyak Jelantah) menjadi biodiesel terlihat mencolok. Dan masuk dalam range yang telah distandartkan oleh *National Biodiesel Board* (Fara, 2002), (Zuhdi, 2002), (Pelly, 2000), (Kac, 2000).

Hasil yang jelek dari sample yang dikirimkan dalam pengujian karakteristik bukanlah hasil final dari minyak Jelantah Ethyl Ester yang telah dibuat. Dalam pengujian secara visual ketika dicampurkan (Bleding) antara minyak Jelantah Ethyl Ester dengan minyak solar terjadi percampuran yang sempurna (lihat gambar 4.5). Sedangkan dari minyak Jelantah terjadi separasi ketika dicampurkan dengan minyak Solar (lihat gambar 4.7). Terjadinya percampuran yang sempurna antara minyak Jelantah Ethyl Ester dengan minyak Solar karena dari kedua bahan bakar tersebut mempunyai karakteristik yang mirip, sedangkan terjadinya separasi antara minyak Jelantah dengan minyak solar disebabkan terjadinya perbedaan viskositas yang mencolok dari kedua bahan tersebut. (Zuhdi, 2002).

*National Biodiesel Board* memberikan suatu standart spesifikasi dari biodiesel. Minyak yang diproses untuk dibuat menjadi biodiesel haruslah masuk dalam range yang telah ditetapkan agar dapat dipergunakan sebagai bahan bakar.

Spesifikasi dari Biodiesel murni dipaparkan sebagai berikut:

Tabel 4.2. Range Spesifikasi Karakteristik Biodiesel (B100) Hasil Pengujian Mengacu Pada Prosedure ASTM, National Bio Diesel Board, 1999

No	Properti	Metode ASTM yang dipakai sebagai prosedure pengujian	Range	Satuan
1	Flash Point	D93	100 (min)	Derajat C
2	Water and Sediment content	D2709	0.050 (max)	% Volume
3	Kinematic Viscosity	D445	1.9 – 6.0	mm <sup>2</sup> / sec
4	Sulfate ash	D874	0.020 (max)	% massa
5	Sulfur	D2622	0.05 (max)	% massa
6	Copper Strip Corrosion	D130	No. 3 max	
7	Cetane number	D613	40 (min)	
8	Cloud Point	D2500	Report to customer	Derajat C
9	Carbon Residu 100% sample	D4530***	0.050 (max)	% massa
10	Angka Asam	D664	0.80(max)	Mg KOH/gm
11	Free Glyserin	GC ***	0.020 (max)	% massa
12	Total Glycerin	GC ***	0.240 (max)	% massa

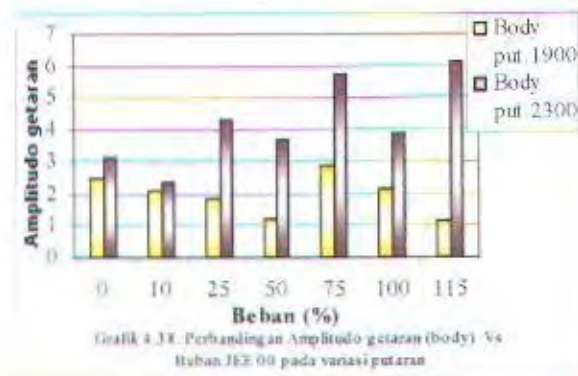
Dilihat dari tabel 4.2. diatas terlihat bahwasanya hasil dari pengujian bahan yang telah diuji karakteristiknya belumlah masuk dalam range yang ada. Hal ini membuktikan bahwasnya bahan yang diduga telah menjadi Jelantah Ethyl Ester ternyata masih berupa minyak Jelantah.

#### 4.3. Analisa Getaran dan Kebisingan motor diesel dengan menggunakan bahan bakar Jelantah Ethyl Ester.

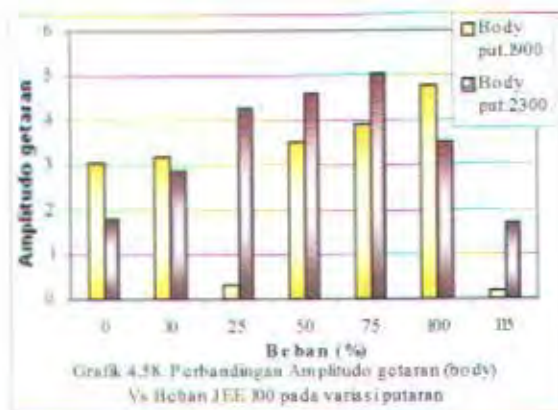


#### 4.3.1. Analisa Tingkat Getaran.

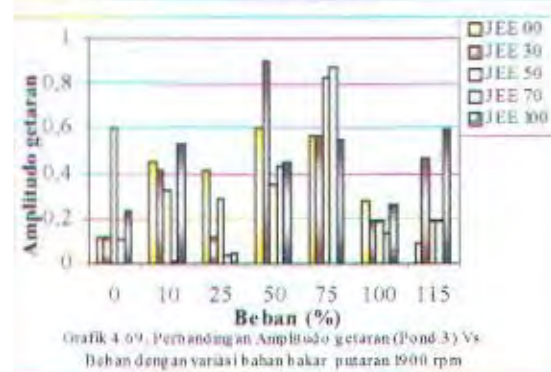
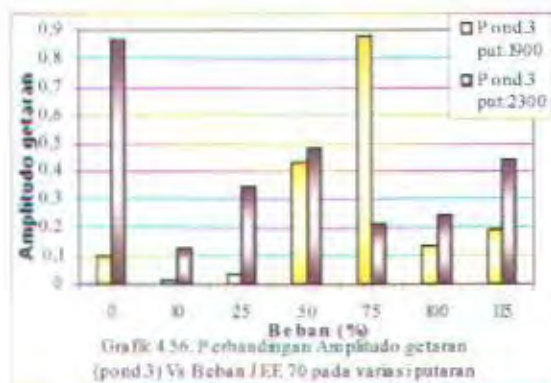
Analisa getaran yang dilakukan adalah dengan menggunakan pengukuran amplitudo getaran motor diesel dengan menggunakan variasi bahan bakar. Dari pengukuran tiap variasi bahan bakar, Variasi putaran, dan posisi pembebanan selanjutnya dilakukan Perbandingan hasil pengukuran seperti yang terlihat dalam grafik 4.38. sampai dengan grafik 4.72 (*lihat lampiran*). Amplitudo getaran meningkat Pada posisi pengukuran di body mesin dengan menggunakan bahan bakar Solar 100% atau JEE 00% seiring dengan kenaikan putaran motor dari 1900 rpm ke 2300 rpm seperti terlihat dalam grafik 4.38.



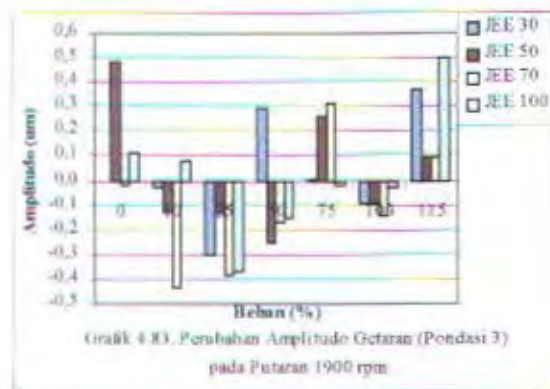
Sedangkan amplitudo getaran meningkat Pada posisi pengukuran di body mesin dengan menggunakan bahan bakar JEE 100% seiring kenaikan putaran motor dari 1900 rpm ke 2300 rpm seperti terlihat dalam grafik 4.58. pada putaran 1900 rpm amplitudo getaran meningkat seiring meningkatnya pembebanan, begitu juga pada putaran 2300 rpm.



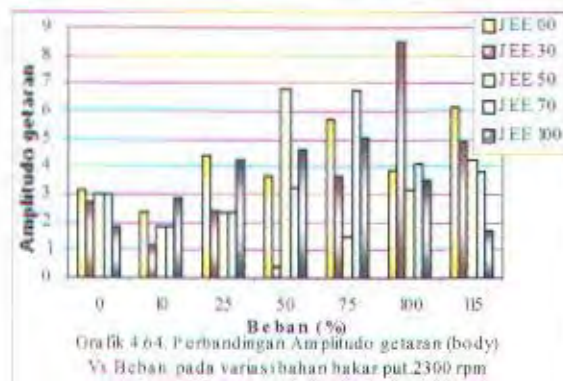
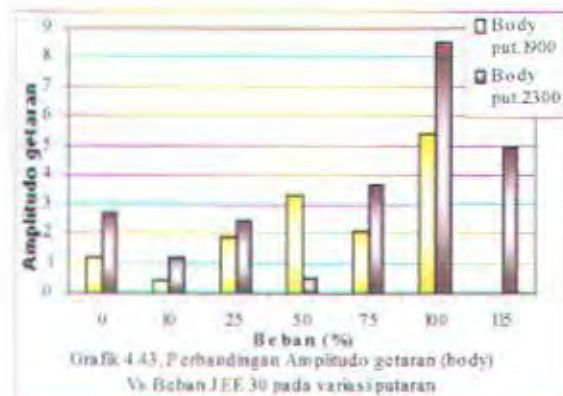
Amplitudo getaran terendah dihasilkan pada percobaan dengan menggunakan variasi bahan bakar JEE 70% putaran 1900 rpm pada pembebanan 10% dan pada posisi pengambilan sampel di pondasi 3 motor diesel yaitu sebesar 0,01335586 mikrometer, seperti terlihat dalam grafik 4.56 dan grafik 4.69. Mengalami penurunan sebesar 0,438 mikrometer bila dibandingkan amplitudo getaran menggunakan bahan bakar JEE 00%, seperti terlihat dalam grafik 4.83.

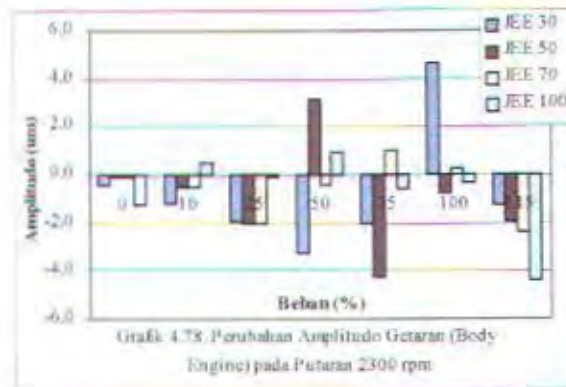






Sedangkan amplitudo getaran tertinggi dihasilkan pada percobaan dengan menggunakan variasi bahan bakar JEE 30% putaran 2300 rpm pada pembebanan 100% dan pada posisi pengambilan sampel di body motor diesel yaitu sebesar 8,495329 mikrometer, seperti terlihat dalam grafik 4.43 dan grafik 4.64. Mengalami kenaikan sebesar 4,628 mikrometer bila dibandingkan amplitudo getaran menggunakan bahan bakar JEE 00%, seperti terlihat dalam grafik 4.78.





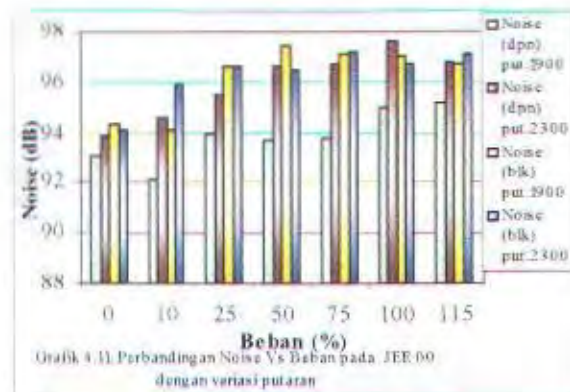
Besarnya amplitudo getaran tertinggi pada penelitian tugas akhir ini sebesar 8,495329 mikrometer (0,0008495329 cm), sedangkan besarnya amplitudo yang disyaratkan oleh Richart pada tataran aman adalah sebesar 0,02–0,025 cm untuk motor putaran rendah (500 rpm), untuk motor dengan putaran 1500 rpm besarnya amplitudo pada tataran aman maksimal 0,004–0,006 cm untuk getaran vertikal, sedangkan pada putaran 3000 rpm amplitudo getaran vertikal yang diijinkan adalah 0,002–0,003 cm (*Machine Foundations, P.Srinivasulu*). Jadi tingkat getaran yang terjadi dalam percobaan ini masih jauh dari bahaya atau masih dalam tataran aman.

#### 4.3.2. Analisa Tingkat Kebisingan.

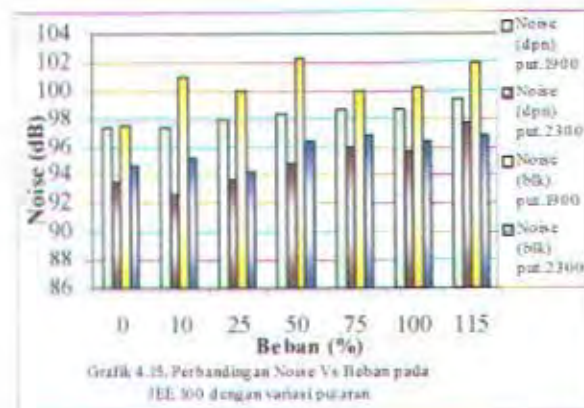
Tingkat kebisingan adalah intensitas suara secara kontinyu yang ditimbulkan. Dalam percobaan ini dilakukan pengukuran terhadap tingkat kebisingan dengan alat sound level meter, dalam percobaan didapatkan intensitas minimum dan maksimum untuk analisa digunakan dari kedua nilai tersebut yang kemudian diambil nilai tengahnya. Dari percobaan didapatkan tingkat kebisingan dengan menggunakan variasi bahan bakar, variasi pembebanan dan variasi



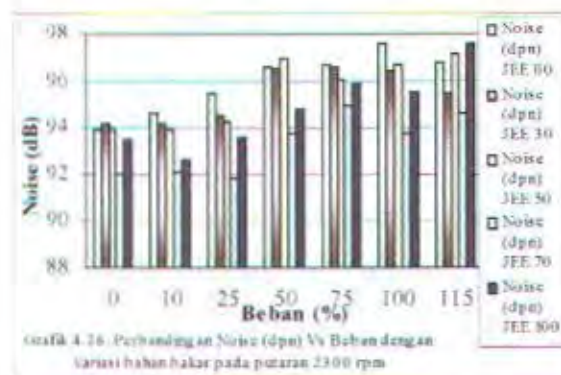
putaran. Hasil pengukuran selanjutnya dibandingkan terhadap hasil pengukuran dengan menggunakan bahan bakar solar 100% atau JEE00% dan telah di disajikan dalam bentuk grafik seperti yang terlihat dalam grafik 4.11. sampai dengan grafik 4.27 (lihat lampiran).



Pada grafik 4.11, terlihat bahwa dengan menggunakan bahan bakar solar 100% (JEE 00%) untuk kedua variasi putaran (1900 dan 2300 rpm) tingkat kebisingan cenderung naik dengan semakin naiknya putaran dan pembebanan. Kebisingan yang terjadi pada posisi pengambilan sampel di belakang motor diesel lebih tinggi dari posisi didepan, hanya pada pembebanan 100% (putaran 2300 rpm) saja tingkat kebisingan yang terjadi di belakang lebih rendah dari posisi di depan motor diesel.

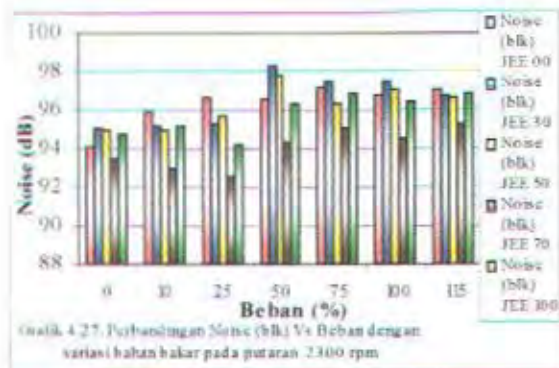


Sedangkan pada grafik 4.14 dan 4.15, terlihat bahwa dengan menggunakan bahan bakar JEE 70% dan JEE 100% untuk kedua variasi putaran (1900 dan 2300 rpm) tingkat kebisingan cenderung turun dengan semakin naiknya putaran, tetapi semakin naik pembebanan tingkat kebisingan juga naik, kebisingan yang terjadi pada posisi pengambilan sampel di belakang motor diesel lebih tinggi dari posisi didepan motor.

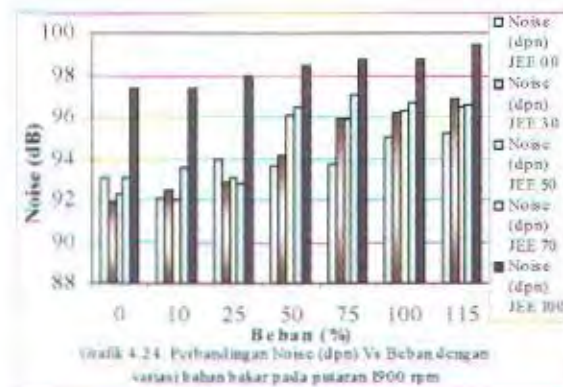


Jadi tingkat kebisingan terendah dihasilkan pada percobaan dengan menggunakan variasi bahan bakar JEE 70% putaran 2300 rpm pada pembebanan 25% dan pada posisi pengambilan sample di depan motor diesel yaitu mengalami sebesar 91,8 dB. Seperti terlihat dalam grafik 4.26.

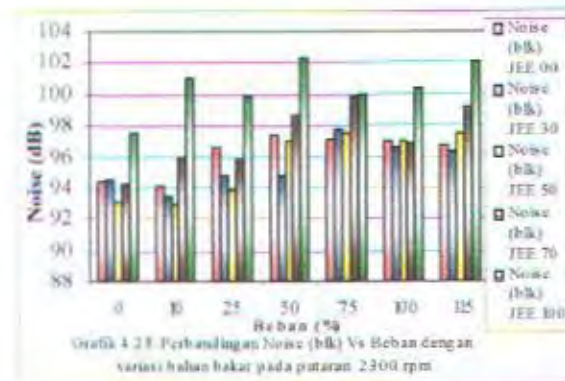




Sedangkan tingkat kebisingan terendah hasil percobaan pada posisi pengambilan sample di belakang motor diesel dengan menggunakan variasi bahan bakar JEE 70% putaran 2300 rpm pada pembebanan 25% dan yaitu mengalami sebesar 92,5 dB. Seperti terlihat dalam grafik 4.27.



Untuk tingkat kebisingan tertinggi dihasilkan pada percobaan dengan menggunakan variasi bahan bakar JEE 100% putaran 1900 rpm pada pembebanan 115% dan pada posisi pengambilan sampel di depan motor diesel yaitu sebesar 99,4 dB. Seperti terlihat dalam grafik 4.24.



Sedangkan tingkat kebisingan tertinggi hasil percobaan pada posisi pengambilan sampel di belakang motor diesel dengan menggunakan variasi bahan bakar JEE 100% putaran 1900 rpm pada pembebanan 50% dan yaitu mengalami sebesar 102,3 dB. Seperti terlihat dalam grafik 4.25.

Tingkat kebisingan tertinggi pada penelitian tugas akhir ini sebesar 102,3 dB, sedangkan tingkat kebisingan yang aman menurut *Japanesse Industrial Standart* berkisar antara 105 - 110 dB untuk diesel generator engine. Jadi tingkat kebisingan yang terjadi masih dalam tingkat aman.





**BAB V**  
**KESIMPULAN DAN SARAN**

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari pengujian produksi dan karakteristik bio-diesel serta pencampurannya dengan minyak solar dan pengaruhnya terhadap unjuk kerja mesin diesel maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Jelantah Ethyl Ester yang dihasilkan berkisar antara 77 – 81 % dari keseluruhan produk dan gliserol yang dihasilkan dari proses esterifikasi berkisar antara 5 – 7 % dan secara fisik terjadi percampuran yang sempurna tanpa terjadi separasi antara minyak Jelantah Ethyl Ester dan minyak Solar.
2. Percampuran minyak Jelantah Ethyl Ester dengan minyak solar mempengaruhi tingkat getaran dan kebisingan dari motor diesel sebagai berikut :
  - ⇒ Amplitudo getaran meningkat Pada posisi pengukuran di body mesin dengan menggunakan bahan bakar Solar 100% atau JEE 00% seiring dengan kenaikan putaran motor dari 1900 rpm ke 2300 rpm seperti terlihat dalam grafik 4.38.
  - ⇒ Jadi amplitudo getaran terendah dihasilkan pada percobaan dengan menggunakan variasi bahan bakar JEE 70% putaran 1900 rpm pada pembebanan 10% dan pada posisi pengambilan sampel di pondasi 3 motor diesel yaitu sebesar 0,01335586 mikrometer, seperti terlihat dalam grafik 4.56 dan 4.64. Mengalami penurunan sebesar 0,438 mikrometer bila



dibandingkan amplitudo getaran menggunakan bahan bakar JEE 00%, seperti terlihat dalam grafik 4.83.

- ⇒ Sedangkan amplitudo getaran tertinggi dihasilkan pada percobaan dengan menggunakan variasi bahan bakar JEE 30% putaran 2300 rpm pada pembebanan 100% dan pada posisi pengambilan sample di body motor diesel yaitu sebesar 8,495329 mikrometer, seperti terlihat dalam grafik 4.43 dan 4.64. Mengalami kenaikan sebesar 4,628 mikrometer bila dibandingkan amplitudo getaran menggunakan bahan bakar JEE 00%, seperti terlihat dalam grafik 4.78.
- ⇒ Tingkat kebisingan terendah dihasilkan pada percobaan dengan menggunakan variasi bahan bakar JEE 70% putaran 2300 rpm pada pembebanan 25% dan pada posisi pengambilan sample di depan motor diesel yaitu mengalami sebesar 91,8 dB. Seperti terlihat dalam grafik 4.26.
- ⇒ Sedangkan tingkat kebisingan terendah hasil percobaan pada posisi pengambilan sample di belakang motor diesel dengan menggunakan variasi bahan bakar JEE 70% putaran 2300 rpm pada pembebanan 25% dan yaitu mengalami sebesar 92,5 dB. Seperti terlihat dalam grafik 4.27.
- ⇒ Tingkat kebisingan tertinggi dihasilkan pada percobaan dengan menggunakan variasi bahan bakar JEE 100% putaran 1900 rpm pada pembebanan 115% dan pada posisi pengambilan sampel di depan motor diesel yaitu sebesar 99,4 dB. Seperti terlihat dalam grafik 4.24.
- ⇒ Sedangkan tingkat kebisingan tertinggi hasil percobaan pada posisi pengambilan sampel di belakang motor diesel dengan menggunakan

variasi bahan bakar JEE 100% putaran 1900 rpm pada pembebanan 50% dan yaitu mengalami sebesar 102,3 dB. Seperti terlihat dalam grafik 4.25.

- ⇒ Besarnya amplitudo getaran tertinggi pada penelitian tugas akhir ini sebesar 8,495329 mikrometer (0,0008495329 cm), jadi tingkat getaran yang terjadi dalam percobaan ini masih jauh dari bahaya atau masih dalam tataran aman karena besarnya amplitudo yang disyaratkan oleh Richart pada tataran aman adalah sebesar 0,02–0,025 cm untuk motor putaran rendah (500 rpm), untuk motor dengan putaran 1500 rpm besarnya amplitudo pada tataran aman maksimal 0,004–0,006 cm untuk getaran vertikal, sedangkan pada putaran 3000 rpm amplitudo getaran vertikal yang diijinkan adalah 0,002–0,003 cm (*Machine Foundations, P.Srinivasulu*).
  - ⇒ Tingkat kebisingan tertinggi pada penelitian tugas akhir ini sebesar 102,3 dB, sedangkan tingkat kebisingan yang aman menurut *Japanesse Industrial Standart* berkisar antara 105 - 110 dB untuk diesel generator engine. Jadi tingkat kebisingan yang terjadi masih dalam tingkat aman.
3. Komposisi campuran (*blending*) bahan bakar yang paling baik dalam penggunaannya adalah pada percampuran 30 % minyak solar dan 70 % Jelantah Ethyl Ester (JEE 70%), karena tingkat getaran dan kebisingan terendah terjadi pada komposisi bahan bakar Jelantah Ethyl Ester 70% (JEE 70%).



## 5.2. Saran

1. Agar dilakukan pengujian karakteristik dari minyak Jelantah terlebih dahulu yang akan digunakan karena ketidakhomogenan karakteristik dari minyak jelantah.
2. Agar sampel untuk pengujian karakteristik bahan bakar jumlahnya lebih dari satu sampel.
3. Daya tahan atau lifetime dari motor diesel dengan bahan bakar jelantah ethyl ester ini belum diketahui, sehingga diharapkan ada penelitian lebih lanjut untuk mengetahui lifetime motor diesel dengan menggunakan bahan bakar jelantah ethyl ester dan juga *maintenance schedule*-nya, apakah ada perbedaan atau tidak antara motor diesel yang beroperasi dengan bahan bakar solar 100%, campuran jelantah ethyl ester-solar, jelantah ethyl ester 100 %.



DAFTAR PUSTAKA



## DAFTAR PUSTAKA

- Agung P.S. [1994], "Analisa Tingkat Kebisingan Mesin Jastram Pada Lab. Mesin Kapal di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan", ITS.
- Ahadiat N. [1994], "Pengaruh Kualitas Minyak Solar pada Proses Pembakaran", Lembaga Publikasi Lemigas No.1.
- Adryan FT, [2002], "Unjuk Kerja Motor Diesel Dengan Bahan Bakar Jelatah Methyl Ester", Tugas Akhir, ITS.
- Andrianto F, [2003], "Analisa Getaran Motor Penggerak Diesel Dengan Bahan Bakar Jelantah Mehyl Ester", Tugas Akhir, ITS.
- Baranescu R. A., dan Lusco J. J., "Performance, Durability, And Low Temperature Evaluation Of Sun Flower Oil As Diesel Fuel Extender", American Society of Agricultural Engineer Publication, pp.312-328, 1997.
- Fahruri S. [2003], "Studi Eksperimen Unjuk Kerja Motor Diesel Menggunakan Bahan Bakar Jelantah Ethyl Ester", Tugas Akhir, ITS.
- Fort E F., dan Blumberg. P M. [1997], "Performance And Durability Of A Turbocharged Diesel Fuelled With Cottonseed Oil Blend", American Society of Agricultural Engineer Publication.
- Kac A, [2000], "The Two-stage Adaptation of Mike Pelly's Biodiesel Recipe", [www.journeytoforever.org](http://www.journeytoforever.org).
- La Puppung P, [1986], "Penggunaan Minyak Kelapa Sebagai Bahan Bakar Motor Diesel", Lembaga Publikasi Lemigas No. 1.

Maleev M.E, DR. AM and Priambodo B. Ir, [1986], "Operasi Dan Pemeliharaan Mesin Diesel", Erlangga, Jakarta.

Nasir M, [1983] "Metode Penelitian", Ghalia Indonesia, Jakarta.

National Biodiesel Board, "Biodiesel Performance"

National Biodiesel Board, "Biodiesel Production Technology Overview"

Peterson, Moller G, Haws R, Zhang X, Thompson J, and Reece D, [1996], "Optimization of a Batch Type Ethyl Ester Process", [www.journeytoforever.org](http://www.journeytoforever.org).

Pelly M, [2000], "Mike Pelly's Biodiesel Method", [www.journeytoforever.org](http://www.journeytoforever.org).

Purwanto E, [2003], "Analisa Getaran Dan Kebisingan Motor Diesel Dengan Bahan Bakar Campuran Kerosene Dan Minyak Pelumas Sebagai Ganti Bahan Bakar Solar", Tugas Akhir, ITS.

Rahman M, [1995], "Biodiesel, Alternatif Substitusi Solar Yang menjanjikan bagi Indonesia", Lembaga Publikasi Lemigas No.1.

Srinivasulu P. And C.V Vaidyanathan, [1974], "Handbook of Machine Foundations", Mc Graw Hill Publishing Company LTD, New Delhi.

Sudrajat S, [1999], "Dunia Minyak Memasuki Pasca 2000", Lembaran Publikasi Lemigas Vol.32 No 2.

Surakhmad W, [1998], "Pengantar Penelitian Ilmiah : Dasar, Metode dan Teknik", edisi 8, Tarsito, Bandung.

Thomson W.T, [1986], "Teori Getaran Dengan Penerapan", Erlangga, Bandung.





Zuhdi MFA, Gerianto I, dan Budiono T [2001], "Biodiesel Sebagai Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil pada Motor Diesel", laporan kemajuan RUT VIII.1 tahun 2001 dan Rencana kerja RUT VIII.2 tahun 2002.

Zuhdi MFA, Gerianto I, dan Budiono T [2002], "Produksi dan Karakteristik Bio-diesel serta Teknik Pencampurannya dengan Minyak Solar (Gas Oil)", Prosiding Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Kelautan 2002.



LAMPIRAN



## MEKANISME TRASESTERIFIKASI

*Mekanisme transesterifikasi menggunakan ethanol mengadopsi metode yang dikembangkan Kac dan Pelly (2000).*

Proses transesterifikasi jelantah ethyl ester secara umum mengadopsi proses esterifikasi yang dilakukan oleh *Pelly dan Kac (2000)* juga akan dijadikan pedoman untuk memproduksi jelantah ethyl ester pada penelitian ini. Langkah-langkah proses pembuatan jelantah ethyl ester adalah sebagai berikut :

- a. Saring minyak jelantah untuk memisahkannya dari sisa makanan atau partikel padat lainnya yaitu pada suhu  $35^{\circ}\text{C}$ . Kemudian panaskan minyak sampai suhu  $100^{\circ}\text{C}$  untuk menghilangkan air yang terkandung didalamnya lalu didinginkan kembali.
- b. Tahap esterifikasi dimulai dengan menambahkan ethoxide (larutan ethanol 25 % dari volume minyak dengan  $\text{K OH } 6,5 \text{ gr/ } 100 \text{ ml ethanol}$ ). Pada step pertama ini ethoxide yang di reaksikan kedalam minyak hanya 75%-nya saja, dimasukkan kedalam minyak jelantah dan diaduk selama 50-60 menit, proses ini dilakukan pada suhu  $48-55^{\circ}\text{C}$ . Setelah selesai maka didiamkan selama 6-12 jam. Pada waktu ini, akan terjadi pemisahan gliserol karena perbedaan gaya beratnya. Gliserol lalu dikeluarkan, sebelum reaksi dihentikan.
- d. Selanjutnya ulangi lagi proses pada step yang kedua dengan cara mencampurkan sisa ethoxide dengan proses dan waktu yang sama seperti

proses tahap pertama. Pada proses yang kedua ini dilakukan untuk memisahkan gliserol yang sulit terpisahkan dari minyak.

- e. Jelantah ethyl ester lalu dicuci dengan *destilated water*. Selama pencucian ini biasanya terbentuk emulsi. Untuk itu digunakan 2% sodium sulfat untuk mengatasi emulsi ini. Pengaduk hanya diputar pada putaran rendah untuk mencegah pembentukan emulsi. Untuk menggantikan sodium sulfat kita bisa juga dengan menggunakan asam cuka. Gunakan cuka yang cukup kuat, untuk cuka 25% kita bisa campurkan dengan komposisi 7 mL dalam komposisi dest water. Kadang-kadang dalam penambahan asam ini tidak kita peroleh PH normal, dianjurkan untuk mencoba sebagian kecil dari jelantah ethyl ester yang telah dipisahkan dari gliserolnya. Tanda-tanda yang paling mudah diamati adalah, apabila terjadi emulsi pada jelantah ethyl ester berarti kekurangan asam sehingga kita perlu menambahkan asam. Sebaliknya apabila dest water anda jernih sekali itu menandakan kebanyakan asam yang dilarutkan. Untuk meyakinkan kita bisa menggunakan kertas lakmus untuk mengukur Ph-nya.
- f. Lapisan ester kemudian dikeringkan selama satu jam, dan ester yang tersisa disimpan dibotol untuk dilakukan pengujian.



## RUMUS PERHITUNGAN

### 1. Daya Efektif

$$Pe = \frac{V \times I \times \cos \phi}{\eta_G \times \eta_B}$$

Dimana :

$Pe$  : Daya Efektif (Watt)

$V$  : Tegangan Listrik (Volt)

$I$  : Arus Listrik (Ampere)

$\eta_G$  : Effisiensi Generator (0,6 - 0,8) karena masih baru diambil 0,8.

$\eta_B$  : Effisiensi belt (0,85)

$\cos \phi$  : Faktor Daya (= 1, untuk generator satu phase)

### 2. SFOC

$$M_{bb} = \rho_{bb} \times V_{bb}$$

Dimana :

$M_{bb}$  : Massa bahan bakar (Kg)

$\rho_{bb}$  : Massa jenis bahan bakar ( $\text{Kg/m}^3$ )

$V_{bb}$  : Volume bahan bakar ( $\text{m}^3$ )

$$FCR = \frac{M_{bb}}{t_{bb}}$$

Dimana :

$FCR$  : Fuel Consumption Rate ( $\text{Kg/s}$ )

$t_{bb}$  : Waktu yang diperlukan untuk menghabiskan bahan bakar 30 ml  
(detik)

$$SFOC = \frac{FCR}{Pe} \times 10^6 \times 3600$$

Dimana :

$SFOC$  : Konsumsi Spesifik Bahan Bakar (g/KWh)

$FCR$  : Fuel Consumption Rate (Kg/s)

$Pe$  : Daya efektif (watt)

### 3. BMEP

$$BMEP = \frac{60 \times Pe \times z}{A \times L \times n \times i}$$

Dimana :

$BMEP$  : Break Mean Effective Pressure (KPa)

$Pe$  : Daya Efektif (KW)

$A$  : Luas Penampang Torak (m<sup>2</sup>)

$L$  : Panjang langkah torak (m)

$i$  : Jumlah silinder

$n$  : Putaran motor diesel (rpm)

$z$  : 2 (untuk motor diesel 4 langkah)

### 4. Torsi

$$Torsi = \frac{71620 \times Pe \times 1,34}{n} (Kg.cm)$$

Dimana :

$Pe$  : Daya Efektif (KW)

$n$  : Putaran Diesel (rpm)



No.	Load (watt)	Putaran		Teg. (Volt)	Arus (A)	pBB	tBB	vBB	mBB	Ne	SFOC
		Engine	Gen.								
1	500	1900	1500	235	1.6	830	170.49	0.00003	0.000146	0.55294	950.8763
2	1000	1900	1500	235	3.3	830	154.83	0.00003	0.000161	1.14044	507.6611
3	1500	1900	1500	235	5	830	140.99	0.00003	0.000177	1.72794	367.9464
4	2000	1900	1500	230	6.8	830	127.54	0.00003	0.000195	2.30000	305.5819
5	2500	1900	1500	230	8.5	830	115.74	0.00003	0.000215	2.87500	269.3894
6	3000	1900	1500	225	10.2	830	101.35	0.00003	0.000246	3.37500	262.0622
7	3500	1900	1500	220	11.5	830	90.51	0.00003	0.000275	3.72059	266.1912
8	4000	1900	1500	216	13.1	830	72.45	0.00003	0.000344	4.16118	297.3359

Tabel 1. Pra-Eksperimen I pada putaran 1900 rpm

No.	Load (watt)	Putaran		Teg. (Volt)	Arus (A)	pBB	tBB	vBB	mBB	Ne	SFOC
		Engine	Gen.								
1	500	1900	1500	238	1.6	830	183.51	0.00003	0.000136	0.56000	872.2763
2	1000	1900	1500	238	3.3	830	164.15	0.00003	0.000152	1.15500	472.8016
3	1500	1900	1500	235	5	830	143.39	0.00003	0.000174	1.72794	361.7879
4	2000	1900	1500	233	6.5	830	128.95	0.00003	0.000193	2.22721	312.1189
5	2500	1900	1500	230	8.2	830	120.22	0.00003	0.000207	2.77353	268.839
6	3000	1900	1500	225	9.8	830	107.27	0.00003	0.000232	3.24265	257.7056
7	3500	1900	1500	223	11.3	830	95.71	0.00003	0.00026	3.70574	252.7378
8	4000	1900	1500	218	12.9	830	74.48	0.00003	0.000334	4.13559	291.0214

Tabel 2. Pra-Eksperimen II pada putaran 1900 rpm

No.	Load (watt)	Putaran		Teg. (Volt)	Arus (A)	pBB	tBB	vBB	mBB	Ne	SFOC
		Engine	Gen.								
1	500	1900	1500	240	1.6	830	184.43	0.00003	0.000135	0.56471	860.6924
2	1000	1900	1500	238	3.3	830	167.83	0.00003	0.000148	1.15500	462.4345
3	1500	1900	1500	235	5.1	830	145.19	0.00003	0.000171	1.76250	350.2967
4	2000	1900	1500	235	7	830	130.14	0.00003	0.000191	2.41912	284.7305
5	2500	1900	1500	230	8.6	830	118.53	0.00003	0.00021	2.90882	259.9897
6	3000	1900	1500	225	10.2	830	103.67	0.00003	0.00024	3.37500	256.1975
7	3500	1900	1500	225	11.9	830	92.98	0.00003	0.000268	3.93750	244.8453
8	4000	1900	1500	220	13.3	830	77.81	0.00003	0.00032	4.30294	267.7325

Tabel 3. Pra-Eksperimen III pada putaran 1900 rpm

No.	Load (watt)	Putaran		Teg. (Volt)	Arus (A)	pBB	tBB	vBB	mBB	Ne	SFOC
		Engine	Gen.								
1	500	1900	1500	238	1.60	830	179.48	0.00003	0.000139	0.55922	893.1297
2	1000	1900	1500	237	3.30	830	162.27	0.00003	0.000153	1.15015	480.2974
3	1500	1900	1500	235	5.03	830	143.19	0.00003	0.000174	1.73946	359.8939
4	2000	1900	1500	233	6.77	830	128.88	0.00003	0.000193	2.31526	300.4191
5	2500	1900	1500	230	8.43	830	118.16	0.00003	0.000211	2.85245	265.9506
6	3000	1900	1500	225	10.07	830	104.10	0.00003	0.000239	3.33088	258.5269
7	3500	1900	1500	223	11.57	830	93.07	0.00003	0.000268	3.78752	254.304
8	4000	1900	1500	218	13.10	830	74.91	0.00003	0.000332	4.19971	284.9206

Tabel 4. Rata-rata Pra-Eksperimen pada putaran 1900 rpm



No.	Load (watt)	Putaran		Teg. (Volt)	Arus (A)	pBB	tBB	vBB	mBB	Ne	SFOC
		Engine	Gen.								
1	500	2300	1500	240	1.5	830	152.59	0.00003	0.000163	0.52941	1109.64
2	1000	2300	1500	238	3.2	830	144.36	0.00003	0.000172	1.12000	554.4175
3	1500	2300	1500	230	5	830	137.69	0.00003	0.000181	1.69118	384.9555
4	2000	2300	1500	220	6.6	830	126.71	0.00003	0.000197	2.13529	331.309
5	2500	2300	1500	220	8.25	830	107.52	0.00003	0.000232	2.66912	312.3524
6	3000	2300	1500	220	10	830	96.06	0.00003	0.000259	3.23529	288.4334
7	3500	2300	1500	220	11.4	830	95.42	0.00003	0.000261	3.68824	254.7087
8	4000	2300	1500	220	12.9	830	88.36	0.00003	0.000282	4.17353	243.0763
9	4500	2300	1500	215	14.3	830	70.06	0.00003	0.000355	4.52132	282.9868
10	5000	2300	1500	210	15.5	830	63.06	0.00003	0.000395	4.78676	296.9654

Tabel 5. Pra-Eksperimen I pada putaran 2300 rpm

No.	Load (watt)	Putaran		Teg. (Volt)	Arus (A)	pBB	tBB	vBB	mBB	Ne	SFOC
		Engine	Gen.								
1	500	2300	1500	235	1.5	830	154.3	0.00003	0.000161	0.51838	1120.691
2	1000	2300	1500	235	3.22	830	148.56	0.00003	0.000168	1.11279	542.232
3	1500	2300	1500	235	4.9	830	139.68	0.00003	0.000178	1.69338	378.9768
4	2000	2300	1500	235	6.5	830	121.03	0.00003	0.000206	2.24632	329.7133
5	2500	2300	1500	230	8.2	830	109.74	0.00003	0.000227	2.77353	294.5128
6	3000	2300	1500	225	9.75	830	97.13	0.00003	0.000256	3.22610	286.0686
7	3500	2300	1500	225	11.4	830	92.72	0.00003	0.000269	3.77206	256.3008
8	4000	2300	1500	220	12.8	830	86.26	0.00003	0.000289	4.14118	250.9393
9	4500	2300	1500	213	14.25	830	71.59	0.00003	0.000348	4.46360	280.5201
10	5000	2300	1500	210	15.5	830	61.5	0.00003	0.000405	4.78676	304.4981

Tabel 6. Pra-Eksperimen II pada putaran 2300 rpm



No.	Load (watt)	Putaran		Teg. (Volt)	Arus (A)	pBB	tBB	vBB	mBB	Ne	SFOC
		Engine	Gen.								
1	500	2300	1500	237	1.6	830	157.37	0.00003	0.000158	0.55765	1021.458
2	1000	2300	1500	237	3.35	830	146.5	0.00003	0.00017	1.15772	528.5188
3	1500	2300	1500	235	5.1	830	136.47	0.00003	0.000182	1.76250	372.6795
4	2000	2300	1500	235	6.6	830	125.4	0.00003	0.000199	2.23235	320.2148
5	2500	2300	1500	230	8.4	830	107.57	0.00003	0.000231	2.77941	299.8181
6	3000	2300	1500	225	10	830	97.35	0.00003	0.000256	3.26471	282.0472
7	3500	2300	1500	222	11.5	830	94.83	0.00003	0.000263	3.68676	256.3957
8	4000	2300	1500	218	13	830	84.68	0.00003	0.000294	4.07206	259.9603
9	4500	2300	1500	213	14.5	830	68.5	0.00003	0.000364	4.47794	292.2354
10	5000	2300	1500	210	15	830	62.26	0.00003	0.0004	4.63235	310.8072

Tabel 7. *Pra-Eksperimen III pada putaran 2300 rpm*

No.	Load (watt)	Putaran		Teg. (Volt)	Arus (A)	pBB	tBB	vBB	mBB	Ne	SFOC
		Engine	Gen.								
1	500	2300	1500	237.3	1.53	830	154.75	0.00003	0.000161	0.53516	1082.369
2	1000	2300	1500	236.0	3.26	830	146.47	0.00003	0.00017	1.13025	541.4606
3	1500	2300	1500	233.3	5.00	830	137.95	0.00003	0.000181	1.71569	378.7501
4	2000	2300	1500	228.3	6.57	830	124.38	0.00003	0.0002	2.20498	326.8481
5	2500	2300	1500	225.0	8.28	830	108.28	0.00003	0.00023	2.74081	302.0565
6	3000	2300	1500	222.3	9.92	830	96.85	0.00003	0.000257	3.24236	285.4669
7	3500	2300	1500	221.0	11.43	830	94.32	0.00003	0.000264	3.71583	255.7564
8	4000	2300	1500	222.3	9.92	830	96.85	0.00003	0.000257	3.24236	285.4669
9	4500	2300	1500	219.3	11.90	830	92.17	0.00003	0.00027	3.83833	253.3784
10	5000	2300	1500	210.0	15.33	830	62.27	0.00003	0.0004	4.73529	303.9854

Tabel 8. *Rata-rata Pra-Eksperimen pada putaran 2300 rpm*



No.	Pr (%)	Load (watt)	Putaran		Teg. (Volt)	Arus (A)	pBB	tBB	vBB	mBB	Ne	SFOC
			Engine	Gen.								
1	10	350	1900	1500	238	1.2	830	192.5	0.00003	0.000129	0.42000	1108.777
2	25	875	1900	1500	235	3	830	167.9	0.00003	0.000148	1.03676	515.0797
3	50	1750	1900	1500	233	5.9	830	139.9	0.00003	0.000178	2.02162	316.9459
4	75	2625	1900	1500	222	9.5	830	122.6	0.00003	0.000203	3.10147	235.7457
5	100	3500	1900	1500	220	11.4	830	94.91	0.00003	0.000262	3.68824	256.0774
6	115	4025	1900	1500	212	12.9	830	67.28	0.00003	0.00037	4.02176	331.283

Tabel 9. Perhitungan Daya dan SFOC bahan bakar JEE 00 pada putaran 1900 rpm

No.	Pr (%)	Load (watt)	Putaran		Teg. (Volt)	Arus (A)	pBB	tBB	vBB	mBB	Ne	SFOC
			Engine	Gen.								
1	10	400	2300	1500	237	1.61	830	163	0.00003	0.000153	0.56113	980.232
2	25	1000	2300	1500	235	3.2	830	146.5	0.00003	0.00017	1.10588	553.3687
3	50	2000	2300	1500	233	6.5	830	123.3	0.00003	0.000202	2.22721	326.5272
4	75	3000	2300	1500	225	9.8	830	103.6	0.00003	0.00024	3.24265	266.809
5	100	4000	2300	1500	216	12.8	830	75.81	0.00003	0.000328	4.06588	290.8175
6	115	4600	2300	1500	208	15	830	63.39	0.00003	0.000393	4.58824	308.202

Tabel 10. Perhitungan Daya dan SFOC bahan bakar JEE 00 pada putaran 2300 rpm

No.	Pr (%)	Load (watt)	Putaran		Teg. (Volt)	Arus (A)	pBB	tBB	vBB	mBB	Ne	SFOC
			Engine	Gen.								
1	10	350	1900	1500	237	1.2	851.87	179.2	0.00003	0.000143	0.41824	1227.342
2	25	875	1900	1500	235	2.95	851.87	165.4	0.00003	0.000154	1.01949	545.4759
3	50	1750	1900	1500	235	5.9	851.87	141.1	0.00003	0.000181	2.03897	319.8538
4	75	2625	1900	1500	228	10.4	851.87	115.6	0.00003	0.000221	3.48706	228.2931
5	100	3500	1900	1500	223	11.5	851.87	95.23	0.00003	0.000268	3.77132	256.1707
6	115	4025	1900	1500	218	14.4	851.87	64.13	0.00003	0.000399	4.61647	310.7605

Tabel 11. Perhitungan Daya dan SFOC bahan bakar JEE 30 pada putaran 1900 rpm

No.	Pr (%)	Load (watt)	Putaran		Teg. (Volt)	Arus (A)	pBB	tBB	vBB	mBB	Ne	SFOC
			Engine	Gen.								
1	10	400	2300	1500	233	1.6	851.87	150.5	0.00003	0.00017	0.54824	1114.826
2	25	1000	2300	1500	233	3.3	851.87	144.5	0.00003	0.000177	1.13074	563.1166
3	50	2000	2300	1500	230	6.5	851.87	125.8	0.00003	0.000203	2.19853	332.5681
4	75	3000	2300	1500	223	9.9	851.87	99.93	0.00003	0.000256	3.24662	283.5764
5	100	4000	2300	1500	216	12.9	851.87	74.94	0.00003	0.000341	4.09765	299.6049
6	115	4600	2300	1500	208	14	851.87	62.86	0.00003	0.000407	4.28235	341.775

Tabel 12. Perhitungan Daya dan SFOC bahan bakar JEE 30 pada putaran 2300 rpm



No.	Pr (%)	Load (watt)	Putaran		Teg. (Volt)	Arus (A)	PBB	tBB	vBB	mBB	Ne	SFOC
			Engine	Gen.								
1	10	350	1900	1500	235	1.2	866.45	184.84	0.00003	0.000141	0.41471	1220.762
2	25	875	1900	1500	235	3.1	866.45	166.28	0.00003	0.000156	1.07132	525.299
3	50	1750	1900	1500	233	6.7	866.45	112.24	0.00003	0.000232	2.29574	363.1598
4	75	2625	1900	1500	227	10	866.45	102.08	0.00003	0.000255	3.33824	274.6058
5	100	3500	1900	1500	220	12.5	866.45	95.32	0.00003	0.000273	4.04412	242.7501
6	115	4025	1900	1500	218	14.5	866.45	75.13	0.00003	0.000346	4.64853	267.9405

Tabel 13. Perhitungan Daya dan SFOC bahan bakar JEE 50 pada putaran 1900 rpm

No.	Pr (%)	Load (watt)	Putaran		Teg. (Volt)	Arus (A)	pBB	tBB	vBB	mBB	Ne	SFOC
			Engine	Gen.								
1	10	400	2300	1500	235	1.7	866.45	138	0.00003	0.000188	0.58750	1154.198
2	25	1000	2300	1500	234	3.4	866.45	147.09	0.00003	0.000177	1.17000	543.7487
3	50	2000	2300	1500	229	6.9	866.45	135.61	0.00003	0.000192	2.32368	296.9613
4	75	3000	2300	1500	223	10.5	866.45	101.21	0.00003	0.000257	3.44338	268.5088
5	100	4000	2300	1500	215	13.5	866.45	69.63	0.00003	0.000373	4.26838	314.8528
6	115	4600	2300	1500	208	14	866.45	62.28	0.00003	0.000417	4.28235	350.8619

Tabel 14. Perhitungan Daya dan SFOC bahan bakar JEE 50 pada putaran 2300 rpm

No.	Pr (%)	Load (watt)	Putaran		Teg. (Volt)	Arus (A)	pBB	tBB	vBB	mBB	Ne	SFOC
			Engine	Gen.								
1	10	350	1900	1500	235	1.2	881.03	177.6	0.00003	0.000149	0.41471	1291.907
2	25	875	1900	1500	235	2.9	881.03	158.45	0.00003	0.000167	1.00221	599.191
3	50	1750	1900	1500	230	5.7	881.03	137.3	0.00003	0.000193	1.92794	359.4596
4	75	2625	1900	1500	224	8.6	881.03	111.51	0.00003	0.000237	2.83294	301.2056
5	100	3500	1900	1500	218	11.3	881.03	85.55	0.00003	0.000309	3.62265	307.0212
6	115	4025	1900	1500	216	13	881.03	65.6	0.00003	0.000403	4.12941	351.2549

Tabel 15. Perhitungan Daya dan SFOC bahan bakar JEE 70 pada putaran 1900 rpm

No.	Pr (%)	Load (watt)	Putaran		Teg. (Volt)	Arus (A)	pBB	tBB	vBB	mBB	Ne	SFOC
			Engine	Gen.								
1	10	400	2300	1500	230	1.61	881.03	137.47	0.00003	0.000192	0.54456	1271.047
2	25	1000	2300	1500	230	3.25	881.03	128.22	0.00003	0.000206	1.09926	675.0818
3	50	2000	2300	1500	227	8.1	881.03	117.48	0.00003	0.000225	2.70397	299.5357
4	75	3000	2300	1500	219	11.4	881.03	88.89	0.00003	0.000297	3.67147	291.5557
5	100	4000	2300	1500	215	14	881.03	66.55	0.00003	0.000397	4.42647	323.0047
6	115	4600	2300	1500	208	19	881.03	50.83	0.00003	0.00052	5.81176	322.0967

Tabel 16. Perhitungan Daya dan SFOC bahan bakar JEE 70 pada putaran 2300 rpm



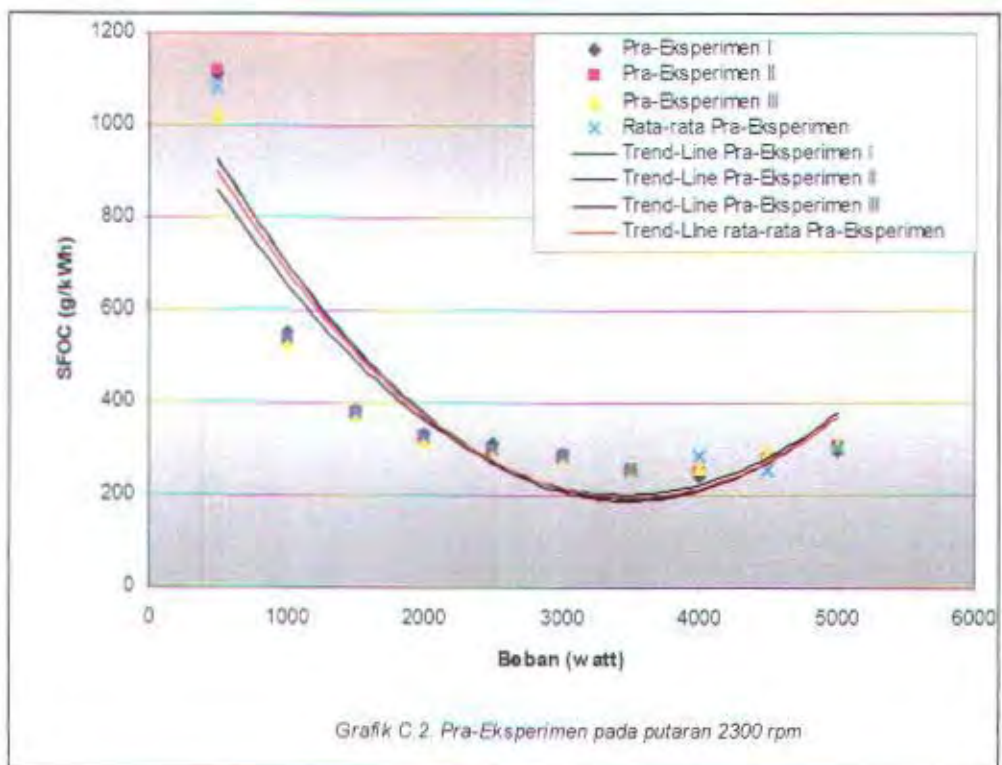
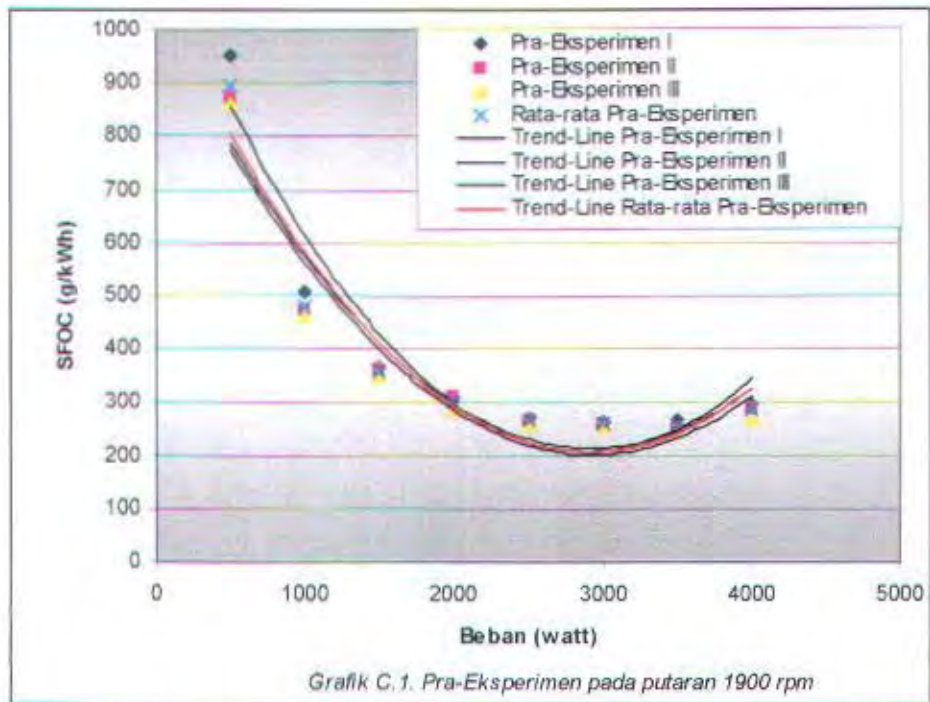
No.	Pr (%)	Load (watt)	Putaran		Teg. (Volt)	Arus (A)	pBB	tBB	vBB	mBB	Ne	SFOC
			Engine	Gen.								
1	10	350	1900	1500	234	1.2	902.9	157.7	0.00003	0.000172	0.41294	1497.23
2	25	875	1900	1500	233	3.1	902.9	127	0.00003	0.000213	1.06221	722.7408
3	50	1750	1900	1500	223	6.4	902.9	122.2	0.00003	0.000222	2.09882	380.0792
4	75	2625	1900	1500	215	10	902.9	84	0.00003	0.000322	3.16176	367.1593
5	100	3500	1900	1500	220	12.3	902.9	64.3	0.00003	0.000421	3.97941	381.0953
6	115	4025	1900	1500	216	13.7	902.9	49.27	0.00003	0.00055	4.35176	454.7947

Tabel 17. Perhitungan Daya dan SFOC bahan bakar JEE 100 pada putaran 1900 rpm

No.	Pr (%)	Load (watt)	Putaran		Teg. (Volt)	Arus (A)	pBB	tBB	vBB	mBB	Ne	SFOC
			Engine	Gen.								
1	10	400	2300	1500	231	1.7	902.9	121.2	0.00003	0.000223	0.57750	1392.725
2	25	1000	2300	1500	231	3.3	902.9	120.9	0.00003	0.000224	1.12103	719.4823
3	50	2000	2300	1500	228	7.5	902.9	104.4	0.00003	0.00026	2.51471	371.5713
4	75	3000	2300	1500	222	10.2	902.9	75.88	0.00003	0.000357	3.33000	385.9152
5	100	4000	2300	1500	214	13.4	902.9	60.56	0.00003	0.000447	4.21706	381.8281
6	115	4600	2300	1500	205	15	902.9	50.09	0.00003	0.000541	4.52206	430.503

Tabel 18. Perhitungan Daya dan SFOC bahan bakar JEE 100 pada putaran 2300 rpm







## JEE 00 %

### JEE 00 putaran 1900 RPM

No.	Pr (%)	Load (watt)	Putaran		Kebisingan Blk		Kebisingan Dpn		Getaran				
			Engine	Gen.	NOISE	Max P	NOISE	Max P	Body	Pondasi 1	Pondasi 2	Pondasi 3	Pondasi 4
1	0	0	1900	1500	94,4	127,1	93,1	108,3	2,469015	1,740555	0,034332	0,121125	0,80773
2	10	350	1900	1500	94,1	119,5	92,1	126,4	2,070648	1,253105	0,423448	0,451089	0,129722
3	25	875	1900	1500	96,6	126,6	94	119,1	1,873895	0,947	0,34332	0,414837	0,001918
4	50	1750	1900	1500	97,4	128	93,7	111,4	1,222595	0,155462	0,092461	0,605551	0,162136
5	75	2625	1900	1500	97,1	126,5	93,8	114	2,84956	1,433379	0,284197	0,564596	0,657056
6	100	3500	1900	1500	97	126,6	95	128,8	2,167684	0,70001	0,098231	0,283261	0,497821
7	115	4025	1900	1500	96,7	126,6	95,2	128,6	1,167308	3,479997	0,478754	0,093451	0,180211

### JEE 00 putaran 2300 RPM

No.	Pr (%)	Load (watt)	Putaran		Kebisingan Blk		Kebisingan Dpn		Getaran				
			Engine	Gen.	NOISE	Max P	NOISE	Max P	Body	Pondasi 1	Pondasi 2	Pondasi 3	Pondasi 4
1	0	0	2300	1500	94,1	126,3	93,9	127,9	3,136371	1,086214	0,761982	0,485412	0,319526
2	10	400	2300	1500	95,9	146,4	94,6	170,4	2,349791	1,126263	0,523555	0,485424	0,506418
3	25	1000	2300	1500	96,6	126,6	95,5	146,4	4,357324	2,244978	0,575047	0,652314	0,386086
4	50	2000	2300	1500	96,5	169,3	96,6	126,4	3,677413	1,318927	0,029582	0,265117	0,174528
5	75	3000	2300	1500	97,2	146,5	96,7	169,9	5,696439	3,531448	0,274656	0,089645	0,958435
6	100	4000	2300	1500	96,7	126,6	97,6	146,7	3,867198	1,747059	0,40055	0,014329	0,01623
7	115	4600	2300	1500	97,1	170,4	96,8	126,7	6,138796	1,398042	0,333813	0,514041	0,728534

## JEE 30 %

### JEE 30 putaran 1900 RPM

No.	Pr (%)	Load (watt)	Putaran		Kebisingan Blk		Kebisingan Dpn		Getaran				
			Engine	Gen.	NOISE	Max P	NOISE	Max P	Body	Pondasi 1	Pondasi 2	Pondasi 3	Pondasi 4
1	0	0	1900	1500	94,5	169,9	91,9	170,3	1,209284	0,426271	0,151652	0,120173	0,78564
2	10	350	1900	1500	93,5	166,4	92,5	170,4	0,408238	1,281724	0,555041	0,418667	0,535984
3	25	875	1900	1500	94,7	170,3	92,9	170,5	1,892077	2,099995	0,583633	0,114451	0,404246
4	50	1750	1900	1500	94,7	169,6	94,1	112,7	3,348346	1,955985	0,603673	0,89836	0,349036
5	75	2625	1900	1500	97,7	166,5	95,9	170,1	2,076103	0,757251	0,052462	0,569346	0,606441
6	100	3500	1900	1500	96,6	170	96,2	170,4	5,393973	1,830157	0,470169	0,188644	0,525477
7	115	4025	1900	1500	96,3	170,5	96,9	170,7	0,014311	1,347536	0,028625	0,464445	0,617114

### JEE 30 putaran 2300 RPM

No.	Pr (%)	Load (watt)	Putaran		Kebisingan Blk		Kebisingan Dpn		Getaran				
			Engine	Gen.	NOISE	Max P	NOISE	Max P	Body	Pondasi 1	Pondasi 2	Pondasi 3	Pondasi 4
1	0	0	2300	1500	95,1	126,3	94,2	126,7	2,684262	0,159293	0,569348	0,165929	0,653259
2	10	400	2300	1500	95,2	126,3	94,2	126,2	1,20063	0,376706	0,580787	0,515918	0,939368
3	25	1000	2300	1500	95,3	126,3	94,5	126,3	2,418758	0,084852	0,532153	0,154507	0,370991
4	50	2000	2300	1500	98,3	126,3	96,5	126,3	0,472051	2,521541	0,155441	0,529293	0,482581
5	75	3000	2300	1500	97,5	128	96,6	126,4	3,636516	0,696268	0,029573	0,307095	0,226971
6	100	4000	2300	1500	97,5	126,3	96,4	126,4	8,495329	2,910613	0,145914	0,188833	1,247411
7	115	4600	2300	1500	96,7	126,4	95,5	126,4	4,89709	0,634237	0,338553	0,174539	0,138292

## JEE 50 %

### JEE 50 putaran 1900 RPM

No.	Pr (%)	Load (watt)	Putaran		Kebisingan Blk		Kebisingan Dpn		Getaran				
			Engine	Gen.	NOISE	Max P	NOISE	Max P	Body	Pondasi 1	Pondasi 2	Pondasi 3	Pondasi 4
1	0	0	1900	1500	93,1	170,2	92,3	170,3	1,177191	0,858313	0,02478	0,603671	0,24128
2	10	350	1900	1500	92,9	169,9	92	169,2	2,149666	0,424361	0,487311	0,324266	0,509265
3	25	875	1900	1500	93,8	166,4	93,1	170,7	2,923995	0,925104	0,289906	0,287064	0,447275
4	50	1750	1900	1500	97	169,7	96,1	170	1,667064	2,693181	0,149698	0,351875	0,338575
5	75	2625	1900	1500	97,5	169,6	95,9	170,3	2,076103	2,768438	0,236502	0,824961	0,474098
6	100	3500	1900	1500	97	170,9	96,3	170,8	5,393973	0,044818	0,657107	0,188844	0,365068
7	115	4025	1900	1500	97,5	170,2	96,5	169,9	0,014311	1,870212	0,273799	0,191676	0,447363



**JEE 50 putaran 2300 RPM**

No.	Pr (%)	Load (watt)	Putaran		Kebisingan Bk		Kebisingan Dpn		Getaran				
			Engine	Gen.	NOISE	Max P	NOISE	Max P	Body	Pondasi 1	Pondasi 2	Pondasi 3	Pondasi 4
1	0	0	2300	1500	95	170,8	93,9	169,4	3,028873	1,368564	0,330934	0,861171	0,139228
2	10	400	2300	1500	95	169,6	93,9	170,3	1,815767	1,983682	0,936504	0,128736	0,308042
3	25	1000	2300	1500	95,7	169,2	94,3	170,4	2,357529	0,749586	1,108162	0,343322	0,123938
4	50	2000	2300	1500	97,8	169,3	97	169,6	6,840816	2,910613	0,145914	0,188833	1,247411
5	75	3000	2300	1500	96,3	169,4	96,1	169,7	1,459025	3,680264	0,887823	0,757186	0,416735
6	100	4000	2300	1500	97,1	170,3	96,7	170,2	3,11084	3,710749	0,884775	0,347191	0,753501
7	115	4600	2300	1500	96,6	169,3	97,1	169,9	4,224829	0,636082	0,475905	0,534995	0,491134

**JEE 70 %**
**JEE 70 putaran 1900 RPM**

No.	Pr (%)	Load (watt)	Putaran		Kebisingan Bk		Kebisingan Dpn		Getaran				
			Engine	Gen.	NOISE	Max P	NOISE	Max P	Body	Pondasi 1	Pondasi 2	Pondasi 3	Pondasi 4
1	0	0	1900	1500	94,3	126,4	93,1	170,1	1,256045	0,9079	0,170705	0,103955	0,753377
2	10	350	1900	1500	95,9	147,9	93,6	170,6	0,786737	1,184444	0,645633	0,013356	0,064831
3	25	875	1900	1500	95,8	126,9	92,8	150,2	1,769996	2,436632	0,539777	0,032432	0,446381
4	50	1750	1900	1500	98,7	170,4	96,5	126,9	1,94648	2,428916	0,208793	0,434879	0,508345
5	75	2625	1900	1500	99,8	146,9	97,1	169,9	1,1702	2,902955	0,465509	0,877339	0,473934
6	100	3500	1900	1500	96,9	127,1	96,7	150,6	1,848228	0,967966	0,722958	0,137298	0,364302
7	115	4025	1900	1500	99,2	170,3	96,6	127	2,310742	1,870212	0,273799	0,191676	0,447363

**JEE 70 putaran 2300 RPM**

No.	Pr (%)	Load (watt)	Putaran		Kebisingan Bk		Kebisingan Dpn		Getaran				
			Engine	Gen.	NOISE	Max P	NOISE	Max P	Body	Pondasi 1	Pondasi 2	Pondasi 3	Pondasi 4
1	0	0	2300	1500	93,5	126,6	92	146,6	3,028873	1,368564	0,330934	0,861171	0,139228
2	10	400	2300	1500	93	169,9	92,1	126,7	1,815767	1,983682	0,936504	0,128736	0,308042
3	25	1000	2300	1500	92,5	146,7	91,8	170	2,357529	0,749586	1,108162	0,343322	0,123938
4	50	2000	2300	1500	94,3	126,8	93,7	146,7	3,219621	0,030537	0,058167	0,480663	0,449068
5	75	3000	2300	1500	95,1	169,4	95	146,7	6,732882	1,884453	0,235531	0,214598	0,143221
6	100	4000	2300	1500	94,5	169,8	93,7	126,8	4,081654	0,094461	0,548358	0,245103	0,137318
7	115	4600	2300	1500	95,3	146,8	94,6	170,3	3,778437	0,886896	0,764855	0,440595	0,446319

**JEE 100 %**
**JEE 100 putaran 1900 RPM**

No.	Pr (%)	Load (watt)	Putaran		Kebisingan Bk		Kebisingan Dpn		Getaran				
			Engine	Gen.	NOISE	Max P	NOISE	Max P	Body	Pondasi 1	Pondasi 2	Pondasi 3	Pondasi 4
1	0	0	1900	1500	97,5	170,5	97,4	126,7	3,056591	0,942298	0,578887	0,231724	0,622759
2	10	350	1900	1500	101	146,7	97,4	171,1	3,172898	0,520741	0,174464	0,532145	0,800096
3	25	875	1900	1500	99,9	126,7	98	149,5	0,295568	3,500953	0,617033	0,043902	1,091051
4	50	1750	1900	1500	102,3	169,8	98,4	126,8	3,491436	2,85718	0,092512	0,451102	0,388095
5	75	2625	1900	1500	100	146,7	98,7	169,9	3,897732	1,55258	0,4101	0,547375	0,36807
6	100	3500	1900	1500	100,3	126,8	98,7	147,1	4,794164	0,23178	0,106802	0,258418	0,571255
7	115	4025	1900	1500	102	170,5	99,4	126,8	0,163042	0,314731	0,893572	0,597912	0,698004

**JEE 100 putaran 2300 RPM**

No.	Pr (%)	Load (watt)	Putaran		Kebisingan Bk		Kebisingan Dpn		Getaran				
			Engine	Gen.	NOISE	Max P	NOISE	Max P	Body	Pondasi 1	Pondasi 2	Pondasi 3	Pondasi 4
1	0	0	2300	1500	94,7	170,3	93,5	126,4	1,833852	0,59025	0,317559	0,224096	0,137344
2	10	400	2300	1500	95,2	146,5	92,6	170,5	2,863873	1,416193	0,144941	0,579938	0,191722
3	25	1000	2300	1500	94,2	146,6	93,6	171	4,27528	0,025855	0,217464	0,557897	0,709496
4	50	2000	2300	1500	96,3	126,7	94,8	149,9	4,585243	0,912716	0,637969	0,630392	1,256964
5	75	3000	2300	1500	96,8	170,5	95,9	126,7	5,066852	2,051388	0,3023	0,600796	0,327216
6	100	4000	2300	1500	96,4	146,7	95,6	169,7	3,520018	0,65901	0,678058	0,453924	0,444409
7	115	4600	2300	1500	96,8	126,7	97,6	149,3	1,718576	0,453915	1,751886	0,680919	0,01812



